

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**
 Направление подготовки **18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, профиль Машины и аппараты химических производств**
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка ректификационной колонны для разделения бинарной смеси бензол-толуол

УДК 66.023.23:547.53/.533-047.84:

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4K51	Мусханов Д.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Криницына З.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л.А.			

Консультант по разделу «Механический расчет оборудования»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доцент		

Запланированные результаты обучения по ООП 18.03.02 выпуска 2019 г.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОПК-1,2,3; ПК-8,10,11,12; ОК-1,2,3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ОПК-1,2; ПК-1,3,,9; ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-2,4,5,16; ОК-5,7), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ОПК – 1; ПК-2,4,5,8,17,18; ОК-3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ОПК -2,3; ПК-13,14,15; ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ОПК – 3; ПК-1,4,6,7,9,10,11; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,6), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (2.6)
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-4,6,8) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**
 Направление подготовки **18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**
 Профиль **Машины и аппараты химических производств**

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ **Беляев В.М.**
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4K51	Мусханову Дмитрию Александровичу

Тема работы:

Разработка ректификационной колонны для разделения бинарной смеси бензол-толуол	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1235/с от 18.02.2019
Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2019

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Разработка тарельчатой ректификационной колонны для разделения бинарной смеси бензол-толуол Производительность колонны по дистилляту $P = 2,31 \text{ кг/с}$; Содержание легколетучего компонента в массовых %:</p> <ul style="list-style-type: none"> • в исходной смеси – 45; • в дистилляте - 92; • в кубовом остатке – 5; <p>Давление в паровом пространстве дефлегматора $P = 0,1 \text{ МПа}$.</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор 2. Технологический расчет колонны 3. Конструктивный расчет колонны 4. Механический расчет колонны 5. Поверочный расчет колонны 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 7. Социальная ответственность
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 – Технологическая схема установки А1</p> <p>Лист 2 – Общий вид ректификационной колонны А1</p> <p>Лист 3 – Техничко-экономические показатели А1</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Криницына Зоя Васильевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Скачкова Лариса Александровна</p>
<p>Механический расчет оборудования</p>	<p>Беляев Василий Михайлович</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	29.01.2019
---	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Беляев Василий Михайлович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4K51	Мусханов Дмитрий Александрович		

Оглавление

Реферат.....	8
Abstract	9
Введение	10
2 Литературный обзор	11
3 Технологический расчет.....	15
3.1 Описание технологической схемы установки.....	15
3.2 Расчет производительности колонны по исходной смеси, дистилляту и кубовому остатку ..	17
3.3 Расчет минимального флегмового числа.....	20
3.4 Построение рабочих линий при разных значениях коэффициента избытка флегмы	20
3.5 Определение рабочего флегмового числа	24
3.6 Расчет средних массовых расходов по жидкости для верхней и нижней частей колонны	26
3.7 Расчет средних массовых расходов пара для верхней и нижней частей колонны	27
4 Конструктивный расчет.....	29
4.1 Скорость пара и диаметр колонны	29
4.2 Высота колонны	31
4.3 Гидравлическое сопротивление тарелок колонны	41
4.4 Тепловой расчет	42
4.5 Расчет тепловой изоляции.....	44
5 Механический расчет	45
5.1 Описание устройства колонны и её принципа работы.....	45
5.2 Прибавки к расчетным толщинам конструктивных	49
элементов:	49
5.3 Расчет давлений необходимых для	49
дальнейшего расчета:	49
5.4 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки.....	51
5.5 Расчёт толщины днища и крышки	54
5.6 Расчет и подбор штуцеров, укрепления.....	55
отверстий	55
Штуцер для ввода исходной смеси.	55
4.3.2 Штуцер для ввода флегмы	56
Штуцер для отвода кубового остатка	56
Штуцер для вывода паров дистиллята.....	56
Штуцер для ввода паров кубовой смеси.....	56
5.7 Подбор и расчет люка-лаза	58
5.8 Прочностной расчет фланцевого	59
соединения люка-лаза.....	59
5.9 Укрепление отверстий патрубков	67
штуцеров	67
5.10 Расчёт ситчатой тарелки на прогиб.....	69
5.11 Поверочный расчет колонны	72
5.11.1 Определение расчетных усилий от ветровых	73
нагрузок.....	73
5.11.2 Расчет веса аппарата	75
5.11.3 Определение периода собственных колебаний	77
5.11.4 Определение расчетного изгибающего момента от ветровой	80
нагрузки	80

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5.12	Расчет аппарата на прочность.....	82
5.12.1	Расчет нагрузок	86
5.12.2	Проверка прочности	87
5.12.3	Проверка устойчивости	90
5.12.4	Опорная обечайка	91
5.12.5	Элементы опорного узла	92
6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	98
6.1	Потенциальные потребители результатов исследования	99
6.2	SWOT–анализ.....	99
6.3	Планирование научно-исследовательских работ.....	103
6.3.1	Структура работ в рамках научного исследования	103
6.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ	104
6.3.3	Разработка графика проведения научного исследования	105
6.4	Расчет затрат.....	109
6.4.1	Материальные затраты	109
6.4.2	Расчет амортизационных отчислений.....	110
6.4.3	Затраты на электроэнергию, потребляемую насосами.....	111
6.4.4	Основная заработная плата исполнителей темы.....	111
6.4.5	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	113
6.4.6	Отчисления во внебюджетные фонды	113
6.4.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	114
6.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	115
6.5.1	Расчёт производственной мощности	117
6.5.2	Анализ безубыточности производства	119
7	Социальная ответственность	125
7.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	126
7.1.1.	Специальные правовые нормы трудового законодательства	126
7.1.2.	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	127
7.2	Производственная безопасность	128
7.3	Выявление вредных факторов при разработке и эксплуатации научного исследования	129
7.3.1	Повышенный уровень вибрации	130
7.3.2	Повышенная температура воздуха рабочей зоны.....	130
7.3.3	Повышенный уровень шума	131
7.4	Анализ опасных факторов при разработке и эксплуатации научного исследования	132
7.4.1	Электрический ток.....	132
7.4.2	Повышенная температура поверхности оборудования.....	133
7.5	Экологическая безопасность.....	133
7.6	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	134
	Заключение	137
	Список литературы	138
	Приложение А.....	140

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Реферат

Дипломный проект состоит из пояснительной записки, содержащей 150 страниц машинописного текста, 31 рисунка, 28 таблиц, 24 источников литературы, и 4 листа графического материала формата А1.

Ключевые слова: ректификационная колонна, смесь, пар, высота, массообмен.

Объектом исследования является ректификационная колонна.

Цель работы – Модернизация теплообменного оборудования для оптимизации процесса теплообмена в химической промышленности.

В ходе выполнения работы были произведены все необходимые расчеты для конструирования аппарата, определены его размеры и основные механические характеристики.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Аппарат диаметром 1400 мм, толщина стенки обечайки 10 мм, высота 14000 мм, 2 штуцера диаметром 200 мм, 3 штуцера диаметром 100мм.

Степень внедрения: ТОО «ПНХЗ»

Область применения: химическая промышленность.

В результате исследования было подтверждено, что рассчитанная ректификационная колонна соответствует всем предъявляемым технологическим характеристикам.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» определена ресурсная, финансовая, бюджетная, социальная и экономическая эффективности исследования.

В разделе «Социальная ответственность» определены вредные и опасные производственные факторы, предложены способы снижения негативного воздействия на организм человека

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Abstract

The diploma project consists of an explanatory note containing 150 pages of typewritten text, 31 figures, 28 tables, 24 sources used, and 2 drawings of A1 and 1 drawing of A0.

Key words: rectification column, mixture, steam, mass-exchange, strength.

A rectification column was designed in the diploma.

The main design, technological, technical and operational characteristics: the Device with a diameter of 1400 mm, wall thickness of 10 mm, length 14000 mm, 5 fittings with diameters of 200 mm, 100 tubes.

Degree of implementation: "POCR" LLP

Application field: chemical industry.

In this project, the following processes were performed: technological calculation of the rectification process, calculation of the distillation column for strength, wind load, calculation of the support shell, strengthening of the holes and calculation of flange connections.

In the section "Social responsibility" describes the measures for the safe management of the technological process.

In the section "Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving" describes the resource efficiency of the project, its analysis, the work plan for the project.

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Введение

Ректификация — массообменный процесс, который осуществляется в большинстве случаев в противоточных колонных аппаратах с контактными элементами (насадки, тарелки). Так же в связке с ректификационной колонной в установке имеются два теплообменных аппарата: кипятильник, который предназначен для генерации парового потока, и конденсатор, в котором пар из верхней части колонны конденсируется. Часть конденсата отправляется обратно в колонну потоком флегмы.

Как нам известно из [1], при ректификации исходная смесь делится на две части: дистиллят — смесь, обогащенную низкокипящим компонентом (НКК), и кубовый остаток — смесь, обогащенную высококипящим компонентом (ВКК).

В расчет ректификационной колонны входит определение её основных геометрических размеров — диаметра и высоты, которые определяются гидродинамическим режимом работы колонны, который зависит от скорости, физических свойств фаз и типа насадки.

Задачи в дипломной работе по проектированию ректификационной колонны для разделения бинарной смеси бензол — толуол:

- По исходным данным сделать технологический расчет оборудования, цель которого состоит в составлении массового и теплового балансов, определении диаметра аппарата и скорости движения жидкости внутри колонны;
- После определения основных геометрических величин оборудования, выбрать его исполнение по материалам, исходя из того, что в оборудовании протекает тепло-, массообменный процесс разделения смеси бензол — толуол;
- Для обеспечения надежности оборудования во время эксплуатации или во время гидроиспытаний, необходимо сделать механический расчет элементов, узлов оборудования и проверить прочность оборудования в целом;
- Рассчитать экономическую целесообразность проектируемого оборудования;
- Рассмотреть вопросы выполнения требования безопасности и гигиены труда к промышленной безопасности, по охране окружающей среды. Выяснить всевозможные опасности при эксплуатации проектируемого оборудования, описать опасные и вредные факторы.

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Задачи по расчету оборудования решаются с помощью программы MathCad.

Конечной задачей является разработка чертежа ректификационной колон

2 Литературный обзор

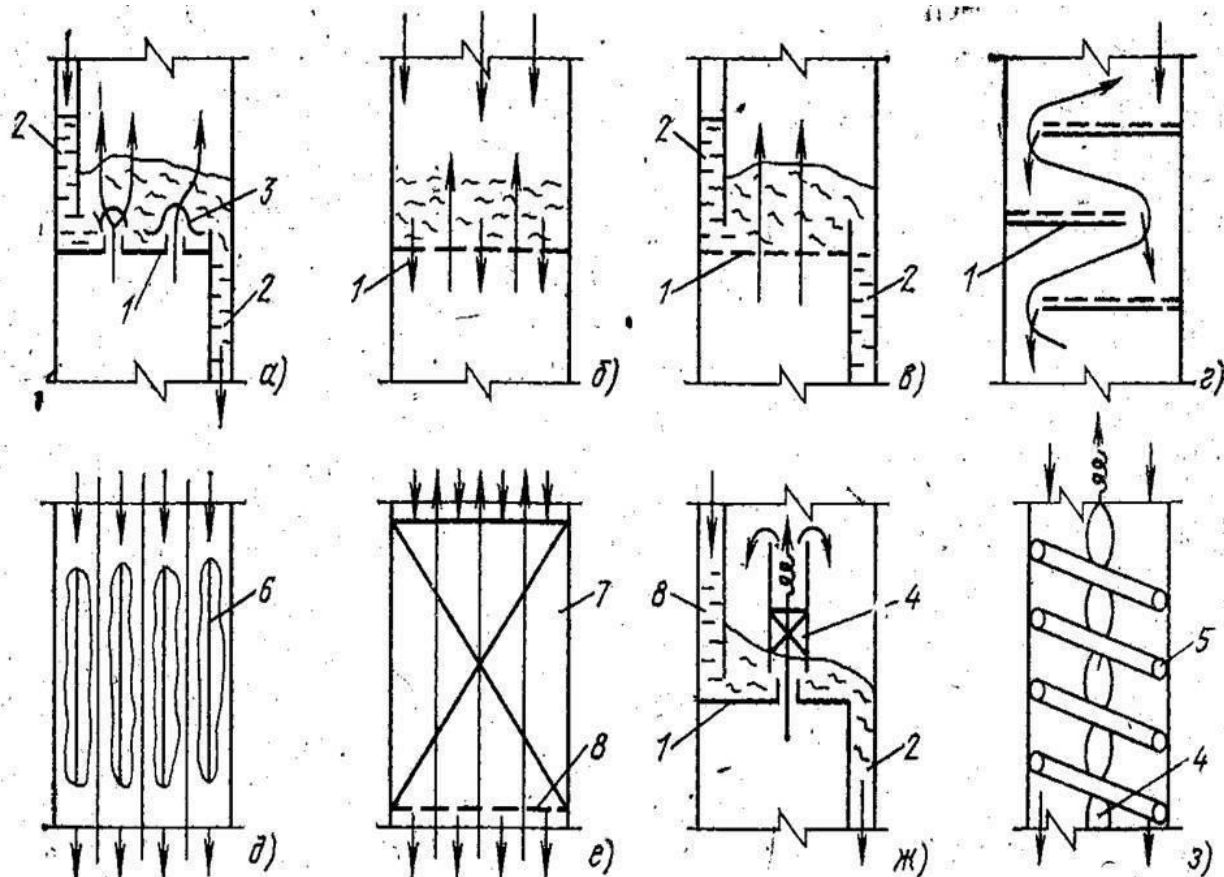
Ректификация – процесс разделения смесей за счет массообмена и теплообмена между паром и жидкостью. Ректификационная колонна – цилиндрический сосуд вертикального типа, постоянного или переменного сечения, состоящий из внутренних тепло- и массообменных устройств и вспомогательных узлов, предназначенных для разделения смесей на фракции, близких по температуре кипения. Различают тарельчатые и насадочные колонны, исходная смесь поступает из емкости в колонну, где низкокипящий компонент концентрируется в верхней части колонны, а высококипящий компонент уходит в низ колонны. Колонны также делятся на атмосферные и вакуумные.

Определенно можно сказать, что ректификация занимает высокое место в химической технологии. Практически каждый нефтеперерабатывающий завод оснащен хотя бы одной такой установкой, без массообменных аппаратов в нефтегазовой промышленности никак не обойтись.

В настоящее время, в нефтехимической промышленности не обойтись без массообменных аппаратов, а именно без ректификационных колонн. Существует большое количество конструкций колонн, но самым основным является тарельчатая конструкция колонны. Выбор конструкции зависит от технологических схем, направления относительного движения газа и жидкости, и способа образования поверхности контакта фаз. Взаимодействие газа (пара) и жидкости на каждой ступени может происходить в противотоке, прямотоке или в перекрестном токе фаз. Конструкции контактных устройств со схемами взаимодействия показаны на рисунке 1.

Существует множество конструкций массообменных колонных аппаратов, но опираясь на результаты анализа [2], можно сказать, что тарельчатые ректификационные колонны имеют большой потенциал в химической промышленности, так как наиболее полно отвечают требованиям, которые предъявляются к ректификационным колоннам, позволяют создать наиболее энергосберегающую схему производства, имеет преимущество в процессах с образованием нежелательных побочных продуктов.

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



geyz.ru

Рисунок 2.1 – Конструкции контактных устройств со схемами взаимодействия фаз

а – копачковая; б – решетчатая (ситчатая) провальная; в – ситчатая; г – каскадная промывная; д – с плоскопараллельной насадкой; е – насадочная; ж – с прямоточно – контактным устройством; з – вихревая.

В данной работе рассмотрена ректификационная колонна, предназначенная для разделения смеси бензол-толуол. Данная смесь является примесью при производстве высокооктановых бензинов. После разделения очищенные продукты находят промышленное применение, например, бензол применяется в производстве пластмасс, лекарств, красителей, для синтеза других продуктов. Ранее для повышения октанового числа бензол вводили в топливо, но затем его перестали использовать из-за возросшей конкуренцией на рынке высокооктановых бензинов. Толуол нашел применение в основном как растворитель, но также и в военной промышленности в производстве взрывчатых веществ.

Для того чтобы осуществить разделение компонентов бинарной смеси бензол-толуол необходимо использовать такие аппараты как:

- ректификационная колонна;

- дефлегматор;
- кипятильник;
- подогреватель;
- холодильник;
- емкости;
- насосы.

Тарельчатые колонны выполняют в виде вертикальных цилиндров, внутри которых одна под другой горизонтальные перегородки-тарелки, число которых зависит от смеси, разделяемой в колонне, обеспечивающие возможность встречного течения и контакта жидкости и газа (пара). Такого типа колонны имеют диаметр 0,5-8 м и высоту от 6 до 180 м, в зависимости от вида разделяемых продуктов, производительности и т.д.

В колоннах устанавливают следующие типы тарелок: провальные, колпачковые, сетчатые, клапанные, струйные и т.д. Некоторые конструкции тарелок представлены на рис. 1.1.

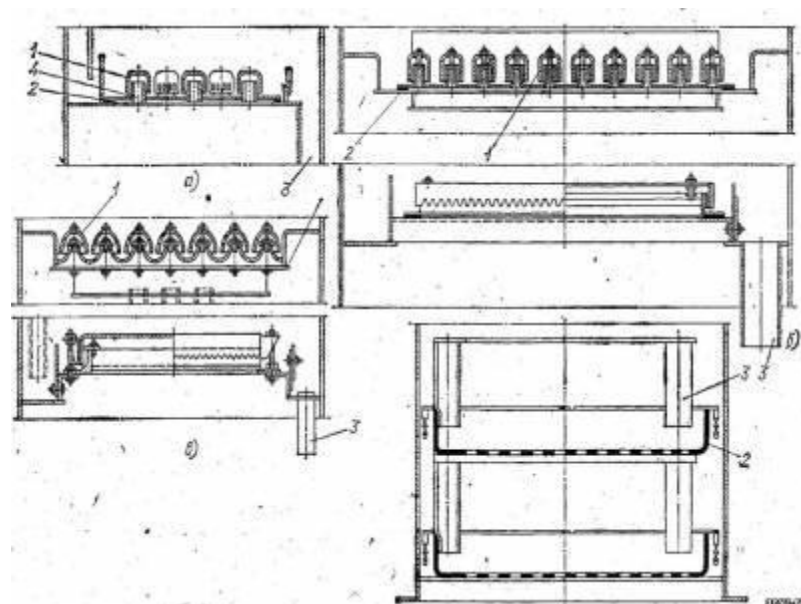


Рисунок 2.2 – виды тарелок

а – с капсульными круглыми колпачками; б – с туннельными колпачками; в – с желобчатыми колпачками; г – ситчатая тарелка; 1 – колпачок; 2 – основание тарелки; 3 – сливной патрубок; 4 – патрубок для входа пара.

Также сейчас идет речь о так называемой реактивной ректификации, которая имеет преимущества в виде [3] улучшенной селективности, конверсии, более эффективного использования теплового эффекта химической реакции, появления возможности разделения компонентов, температуры кипения которых очень близки.

Обычно такие процессы проводят совместно, то есть отделение компонентов друг от друга и химическое превращение проходят одновременно в одном аппарате. Оптимизация сложного химико-технологического процесса таким образом в настоящее время является трендом, ведь это позволяет сократить технологическую схему, оптимизировать сложные химические превращения. Интересным фактом является то, что эффективность в таких комбинированных процессах превышает эффективность обычного проведения процессов отдельно. В настоящее время ведутся исследования по улучшению качества продуктов, получаемых в процессе ректификации, возможность уменьшения размеров аппарата при неизменной производительности и качестве продукции, более металлоемкое ведение процесса, чтобы ректификация была дешевым и очень производительным процессом.

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 Технологический расчет

3.1 Описание технологической схемы установки

Исходную смесь из промежуточной емкости ТК - 307 центробежным насосом Р - 211 подают в теплообменник Е - 301, где она подогревается до температуры кипения. Нагретая смесь поступает на разделение в ректификационную колонну К - 101, где состав жидкости равен составу исходной смеси x_F .

Стекая вниз по колонне, жидкость взаимодействует с поднимающимся вверх паром, образующимся при кипении кубовой жидкости в кипятильнике Е - 302.

Начальный состав пара примерно равен составу кубового остатка X_W , т. е. обеднен легколетучим компонентом. В результате массообмена с жидкостью пар обогащается легколетучим компонентом. Для более полного обогащения верхнюю часть колонны орошают в соответствии с заданным флегмовым числом жидкостью (флегмой) состава x_D , получаемой в дефлегматоре Е - 212 путем конденсации пара, выходящего из колонны. Часть конденсата выводится из дефлегматора в виде готового продукта разделения — дистиллята, который охлаждается в теплообменнике Е - 303 и направляется в промежуточную емкость ТК - 309.

Из кубовой части колонны насосом Р - 212 непрерывно выводится кубовая жидкость — продукт, обогащенный труднолетучим компонентом, который охлаждается в теплообменнике Е - 211 и направляется в емкость ТК - 308.

Таким образом, в ректификационной колонне осуществляется непрерывный неравновесный процесс разделения исходной бинарной смеси на дистиллят (с высоким содержанием легколетучего компонента) и кубовый остаток (обогащенный труднолетучим компонентом).

Простейшая технологическая схема процесса ректификации представлена на рисунке 3.1.

В расчет ректификационной колонны входит определение её основных геометрических размеров — диаметра и высоты, которые определяются гидродинамическим режимом работы колонны, который зависит от скорости, физических свойств фаз и тарелки.

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

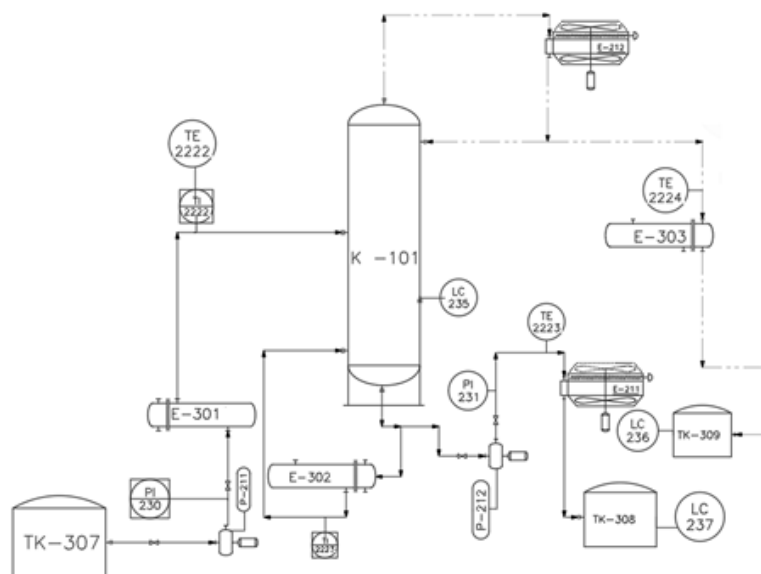


Рисунок 3.1 — Принципиальная схема ректификационной установки: ТК-307 – ёмкость для исходной смеси; Р - 211, Р - 212 – насосы; Е - 301 – теплообменник-подогреватель; Е302 – кипятильник; К - 101 – ректификационная колонна; Е - 212 – дефлегматор; Е - 303 – холодильник дистиллята; ТК - 308 – ёмкость для сбора дистиллята; Е - 211 – холодильник кубовой жидкости; ТК - 309 – ёмкость для кубовой жидкости.

3.2 Расчет производительности колонны по исходной смеси, дистилляту и кубовому остатку

Материальный баланс процесса ректификации состоит из двух уравнений и необходим для определения расходов дистиллята и кубового остатка.

Общее уравнение материального баланса [3, с. 228]:

$$F = P + W,$$

где F – массовый расход исходной смеси кг/с;

P – массовый расход дистиллята кг/с;

W – массовый расход кубового остатка кг/с.

Уравнение материального баланса по низкокипящему компоненту [3, с. 228]:

$$F\bar{x}_F = P\bar{x}_P + W\bar{x}_W,$$

где \bar{x}_F – массовая доля низкокипящего компонента в исходной смеси;

\bar{x}_P – массовая доля низкокипящего компонента в дистилляте;

\bar{x}_W – массовая доля низкокипящего компонента в кубовом остатке.

Выражая из уравнения (1) массовый расход дистиллята или кубового остатка и подставляя его в уравнение (2) можно определить массовый расход кубового остатка или дистиллята соответственно. Подставляя полученное значение расхода в уравнение (1) определим недостающее значение расхода.

Таким образом:

$$W = \frac{F(\bar{x}_P - \bar{x}_F)}{\bar{x}_P - \bar{x}_W} = \frac{2,31 \cdot (92 - 45)}{92 - 5} = 1,248 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Подставим W в (1) и найдем P :

$$P = F - W = 2,31 - 1,248 = 1,062 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Для последующих расчетов необходимо перевести массовые доли в мольные.

Пересчет осуществляется по формуле [3, с. 123]:

$$x = \frac{\bar{x}/M_{\text{нк}}}{\bar{x}/M_{\text{нк}} + \frac{1-\bar{x}}{M_{\text{вк}}}}$$

где $M_{\text{нк}}$ и $M_{\text{вк}}$ – молярные массы низкокипящего и высококипящего компонентов

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

соответственно, г/моль;

x и \bar{x} - соответственно мольная и массовая доля низкокипящего компонента в исходной смеси, кубовом остатке или дистилляте.

Низкокипящий компонент – бензол, имеет молярную массу $M_B=78$ г/моль, высококипящий компонент – толуол, имеет молярную массу $M_T=92$ г/моль.

Осуществляем перевод массовых долей в мольные.

Исходная смесь:

$$x_F = \frac{\bar{x}_F / M_{HK}}{\bar{x}_F / M_{HK} + \frac{100 - \bar{x}_F}{M_{BK}}} = \frac{45/78}{45/78 + \frac{100-45}{92}} = 0,49 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Дистиллят:

$$x_P = \frac{\bar{x}_P / M_{HK}}{\bar{x}_P / M_{HK} + \frac{100 - \bar{x}_P}{M_{BK}}} = \frac{92/78}{92/78 + \frac{100-92}{92}} = 0,93 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Кубовый остаток:

$$x_W = \frac{\bar{x}_W / M_{HK}}{\bar{x}_W / M_{HK} + \frac{100 - \bar{x}_W}{M_{BK}}} = \frac{5/78}{5/78 + \frac{100-5}{92}} = 0,06 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Необходимо построить $t - x$, y диаграмму заданной бинарной смеси и ее линию равновесия. Для построения этих диаграмм нужно определить равновесные составы паровой и жидкой фаз разделяемой смеси.

Таблица 1 – Равновесные составы паровой и жидкой фаз смеси бензол – толуол [3]

$t, ^\circ\text{C}$	% мол.бензола в жидкости	% мол.бензола в паре
110,6	0	0
108,3	5	11,5
106,1	10	21,4
102,2	20	38
98,6	30	51,1
95,2	40	61,9
92,1	50	71,2
89,4	60	79
86,8	70	85,4
84,4	80	91
82,3	90	95,9
80,2	100	100

По данным табл. 1 построим диаграмму x, y

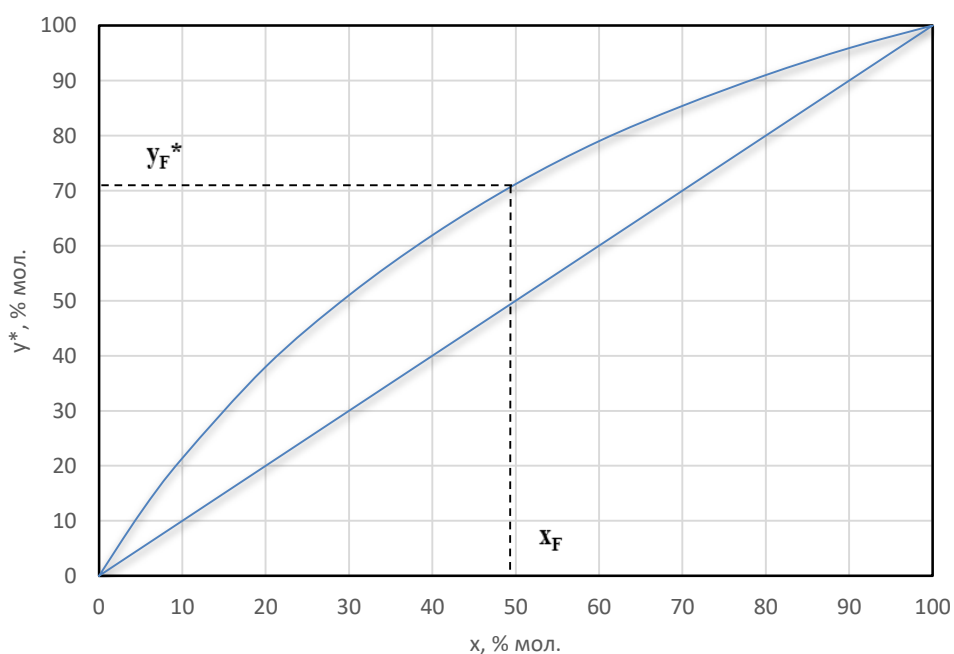


Рисунок 3.2 – Диаграмма равновесия между паром (y) и жидкостью (x) при постоянном давлении.

3.3 Расчет минимального флегмового числа

Определяем минимальное флегмовое число по формуле 6.2 [3, с. 228]:

$$R_{min} = \frac{x_P - y_F^*}{y_F^* - x_F}$$

По рис. 3 определяем равновесный состав пара при $x_F = 49\%$:

$$y_F^* = 71,2\% = 0,712.$$

Минимальное флегмовое число:

$$R_{min} = \frac{0,92 - 0,712}{0,712 - 0,49} = 0,937.$$

Определяем оптимальное рабочее флегмовое число графическим методом.

3.4 Построение рабочих линий при разных значениях коэффициента избытка флегмы

Задаемся рядом значений коэффициента избытка флегмы β и рассчитываем соответствующие рабочие флегмовые числа R по формуле:

$$R = R_{min} \cdot \beta$$

где β – коэффициент избытка флегмы (берем произвольно).

$$R_1 = \beta_1 \cdot R_{min} = 0,937 \cdot 1,2 = 1,124;$$

$$R_2 = \beta_2 \cdot R_{min} = 0,937 \cdot 1,4 = 1,312;$$

$$R_3 = \beta_3 \cdot R_{min} = 0,937 \cdot 1,7 = 1,593;$$

$$R_4 = \beta_4 \cdot R_{min} = 0,937 \cdot 2,3 = 2,155;$$

$$R_5 = \beta_5 \cdot R_{min} = 0,937 \cdot 3,0 = 2,811;$$

$$R_6 = \beta_6 \cdot R_{min} = 0,937 \cdot 3,8 = 3,564.$$

Для каждого значения R на y - x диаграмме строим рабочие линии укрепляющей и исчерпывающей частей колонны по уравнениям [2, с. 320]:

для укрепляющей части:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_P}{R+1};$$

для исчерпывающей части:

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$y = \frac{R + F}{R + 1} \cdot x - \frac{f - 1}{R + 1} \cdot x_W.$$

Для каждого случая определяем число теоретических ступеней изменения концентраций N_T по методу Мак-Кэба и Тиле.

Каждое определение числа теоретических ступеней отражено на рис. 3.1–рис.3.8.

Построим диаграммы x, y . Построим рабочие линии укрепляющей и исчерпывающей части колонны и нанесем линии обозначающие теоретические тарелки. По количеству ступеней изменения концентрации, определим число теоретических тарелок (N_T).

Рассчитаем число B :

$$B_1 = \frac{x_P}{R_1 + 1} = \frac{0,93}{1,124 + 1} = 0,438;$$

$$B_2 = \frac{x_P}{R_2 + 1} = \frac{0,93}{1,312 + 1} = 0,402;$$

$$B_3 = \frac{x_P}{R_3 + 1} = \frac{0,93}{1,593 + 1} = 0,359;$$

$$B_4 = \frac{x_P}{R_4 + 1} = \frac{0,93}{2,155 + 1} = 0,295;$$

$$B_5 = \frac{x_P}{R_5 + 1} = \frac{0,93}{2,811 + 1} = 0,244;$$

$$B_6 = \frac{x_P}{R_6 + 1} = \frac{0,93}{3,564 + 1} = 0,204.$$

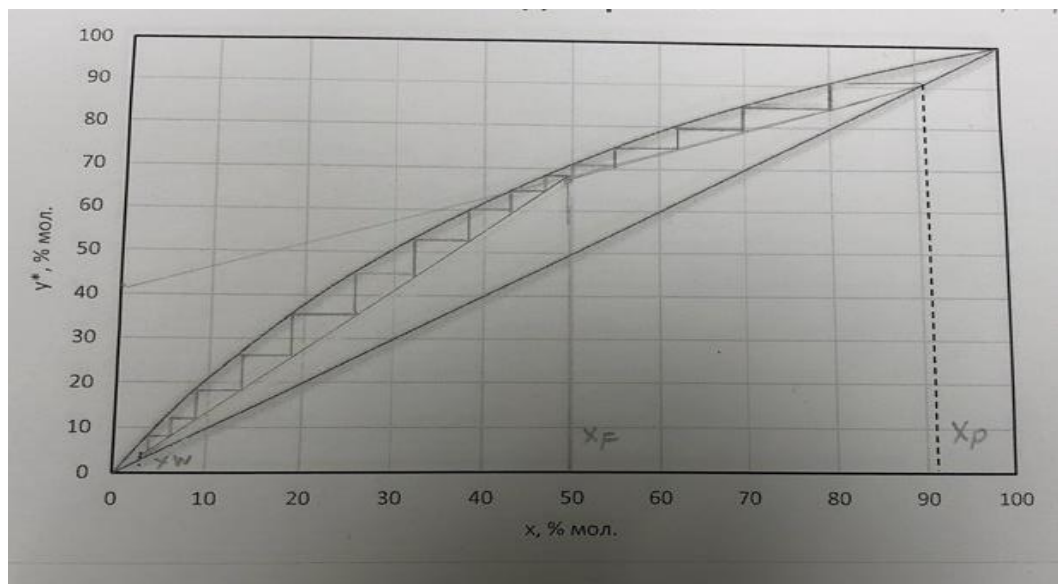


Рисунок 3.3 – Определение числа теоретических ступеней при $R=1,124$

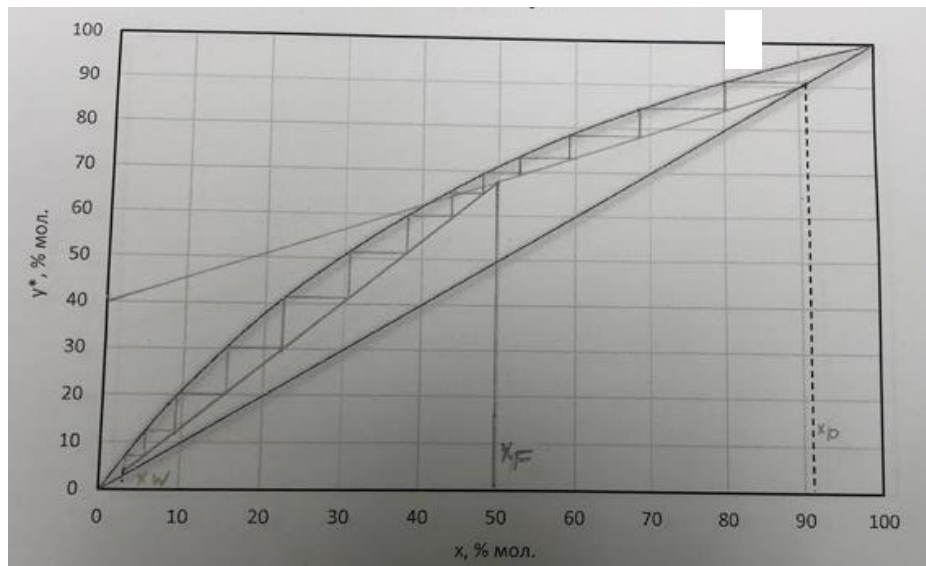


Рисунок 3.4 – Определение числа теоретических ступеней при $R=1,312$

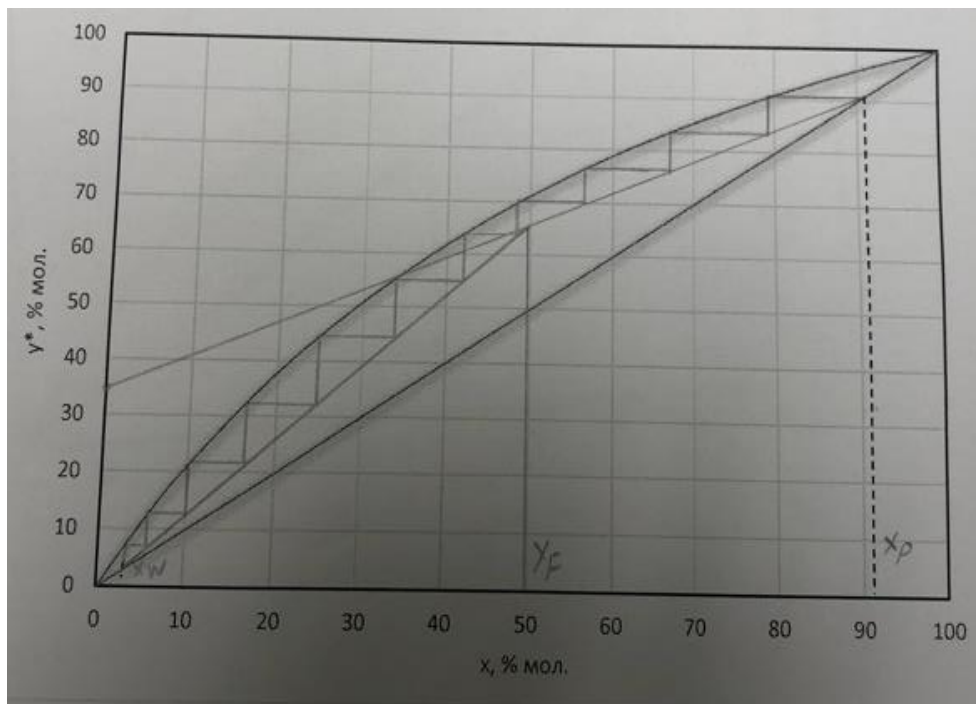


Рисунок 3.5 – Определение числа теоретических ступеней при $R=1,593$

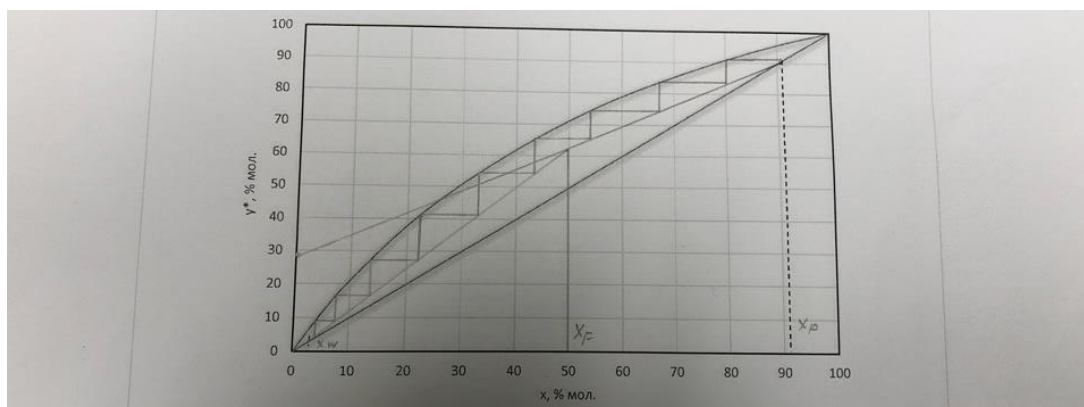


Рисунок 3.6 – Определение числа теоретических ступеней при $R=2,155$

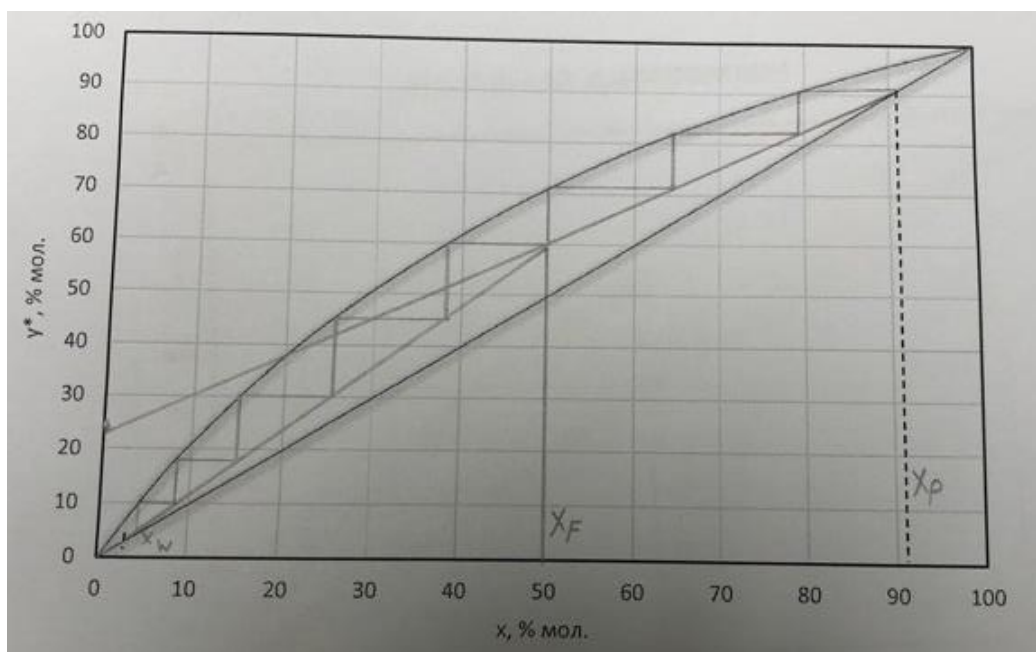


Рисунок 3.7 – Определение числа теоретических ступеней при $R=2,811$

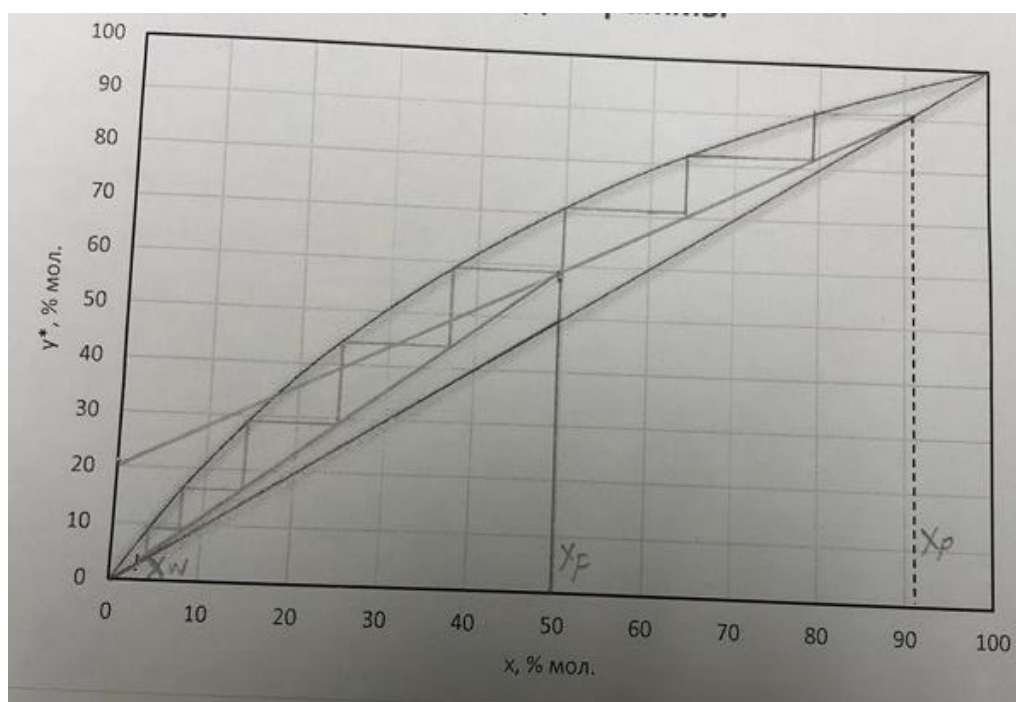


Рисунок 3.8 – Определение числа теоретических ступеней при $R=3,564$

3.5 Определение рабочего флегмового числа

Полученное количество теоретических тарелок занесем в табл. 2:

Таблица 2 – Данные для нахождения R

β	1,2	1,4	1,7	2,3	3,0	3,8
R	1,124	1,312	1,593	2,155	2,811	3,564
N	15	13	11	9	8	8
$N(R+1)$	31,86	30,06	28,52	28,4	30,48	36,51

Строим график зависимости $N(R+1)=f(R)$. По этому графику определяем оптимальное рабочее флегмовое число, которое соответствует минимуму данного графика.

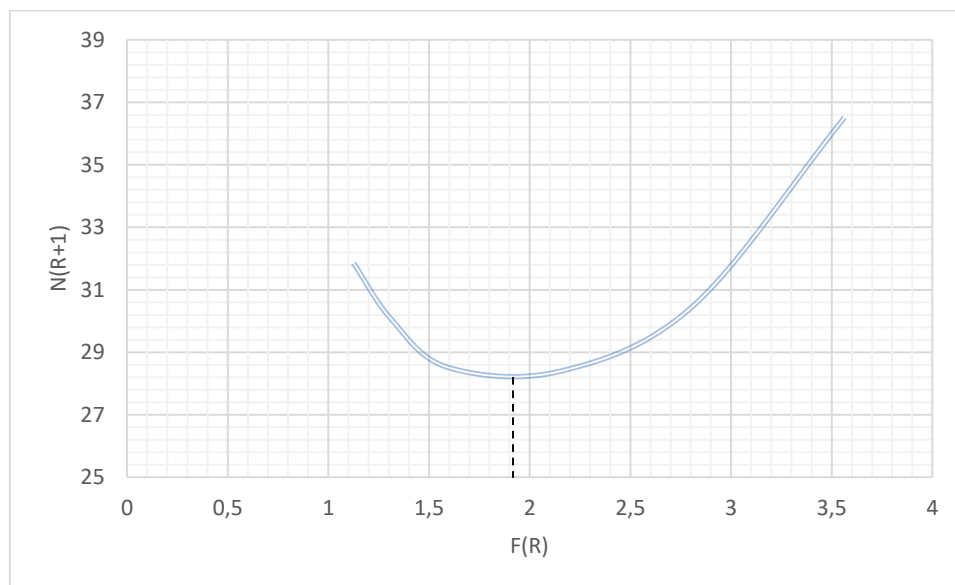


Рисунок 3.9 – Определение рабочего флегмового числа

По графику видно, что минимуму соответствует значение $R=1,91$.

Построим у-х диаграмму при рабочем флегмовом числе.

Уравнения рабочих линий:

для верхней части колонны

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_P}{R+1} = \frac{1,91}{1,91+1} \cdot x + \frac{0,93}{1,91+1} = 0,478x + 0,320;$$

для нижней части колонны

$$y = \frac{R+f}{R+1} \cdot x - \frac{f-1}{R+1} \cdot x_W = \frac{1,91+2,02}{1,91+1} \cdot x - \frac{(2,02-1) \cdot 0,06}{1,91+1} = 1,351x - 0,021,$$

где f – относительный мольный расход питания:

$$f = \frac{x_P - x_W}{x_F - x_W} = \frac{0,93 - 0,06}{0,49 - 0,06} = 2,02.$$

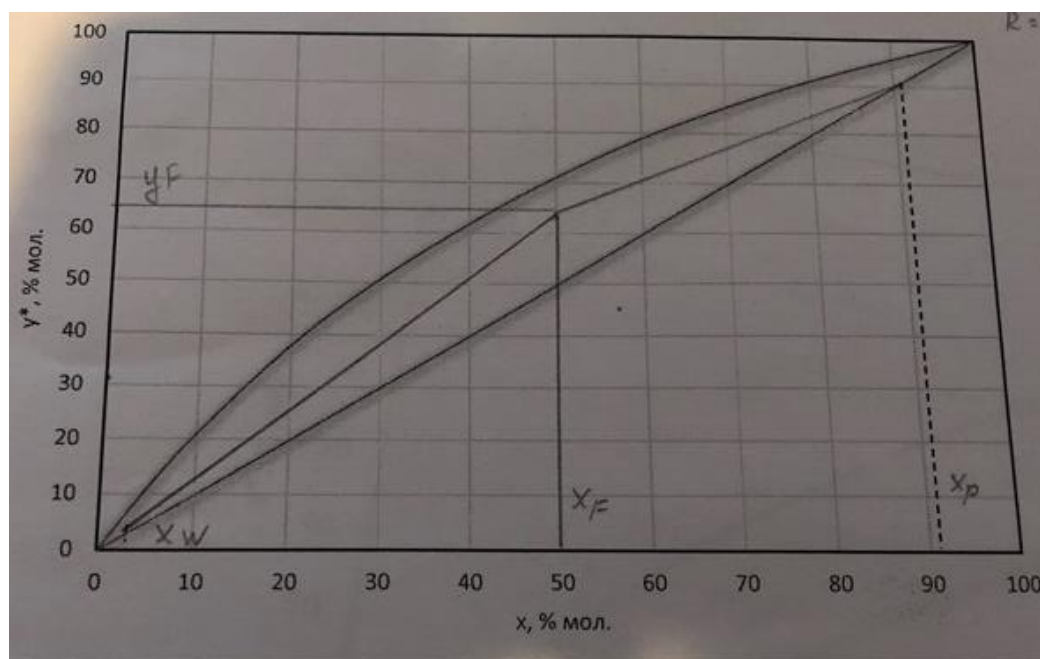


Рисунок 3.10 – Изображение рабочих линий в y — x диаграмме при действительном флегмовом числе $R = 1,91$

3.6 Расчет средних массовых расходов по жидкости для верхней и нижней частей колонны

Средние массовые расходы (нагрузки) по жидкости для верхней и нижней частей колонны определяются из соотношений [3, с. 229]:

$$L_B = \frac{PRM_B}{M_p};$$

$$L_H = \frac{PRM_H}{M_p} + \frac{FM_H}{M_F}.$$

где M_p и M_F – молярные массы дистиллята и исходной смеси;

M_B и M_H – средние молярные массы жидкости в верхней и нижней частях колонны.

Средние молярные массы жидкости в верхней и нижней частях колонны:

$$M_B = M_B x_{ср.в.} + M_T (1 - x_{ср.в.});$$

$$M_H = M_B x_{ср.н.} + M_T (1 - x_{ср.н.}),$$

где M_B и M_T – молярные массы бензола и соответственно равные 78 кг/кмоль и 92 кг/кмоль;

$x_{ср.в.}$ и $x_{ср.н.}$ – средний молярный состав жидкости в верхней и нижней частях колонны:

$$x_{ср.в.} = \frac{x_p + x_F}{2} = \frac{0,93 + 0,49}{2} = 0,71 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}};$$

									Лист
									26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

ФЮРА.РК.000.000.ПЗ

$$x_{\text{ср.н.}} = \frac{x_W + x_F}{2} = \frac{0,06 + 0,49}{2} = 0,275 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}.$$

Тогда

$$M_B = 78 \cdot 0,71 + 92(1 - 0,71) = 82,06 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}};$$

$$M_H = 78 \cdot 0,275 + 92(1 - 0,275) = 88,15 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}.$$

Мольная масса исходной смеси

$$M_F = 78 \cdot 0,49 + 92(1 - 0,49) = 85,14 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}.$$

Мольную массу дистиллята в данном случае можно принять равной мольной массе легколетучего компонента – бензола:

$$M_P = M_B = 78 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}.$$

Подставляя полученные величины в уравнения (8) и (9), получим:

$$L_B = \frac{1,062 \cdot 1,91 \cdot 82,06}{78} = 2,13 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$L_H = \frac{1,062 \cdot 1,91 \cdot 88,15}{78} + \frac{2,31 \cdot 88,15}{85,14} = 2,39 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

3.7 Расчет средних массовых расходов пара для верхней и нижней частей колонны

Средние массовые потоки пара в верхней G_B и нижней G_H частях колонны соответственно равны [3, с. 230]:

$$G_B = P(R + 1) M'_B / M_P;$$

$$G_H = P(R + 1) M'_H / M_P.$$

Здесь M'_B и M'_H – средние мольные массы паров в верхней и нижней частях колонны:

$$M'_B = M_B y_{\text{ср.в.}} + M_T (1 - y_{\text{ср.в.}}); M'_H = M_B y_{\text{ср.н.}} + M_T (1 - y_{\text{ср.н.}}),$$

где

$$y_{\text{ср.в.}} = \frac{y_P + y_F}{2} = \frac{0,93 + 0,65}{2} = 0,79 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}};$$

$$y_{\text{ср.н.}} = \frac{y_F + y_W}{2} = \frac{0,65 + 0,06}{2} = 0,355 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}.$$

Тогда

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$M'_B = 78 \cdot 0,79 + 92(1 - 0,79) = 80,94 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}};$$

$$M'_H = 78 \cdot 0,355 + 92(1 - 0,355) = 87,03 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}.$$

Подставив численные значения в уравнения (11), получим:

$$G_B = 1,062(1,91 + 1) \cdot \frac{80,94}{78} = 3,21 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$G_H = 1,062(1,91 + 1) \cdot \frac{87,03}{78} = 3,45 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4 Конструктивный расчет

4.1 Скорость пара и диаметр колонны

Плотности пара $\rho_{ув}$, $\rho_{ун}$ верхней и нижней частях колонны находим по уравнениям [3, с. 353]:

$$\rho_{ув} = \frac{M'_B}{22,4} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_B};$$

$$\rho_{ун} = \frac{M'_H}{22,4} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_H}.$$

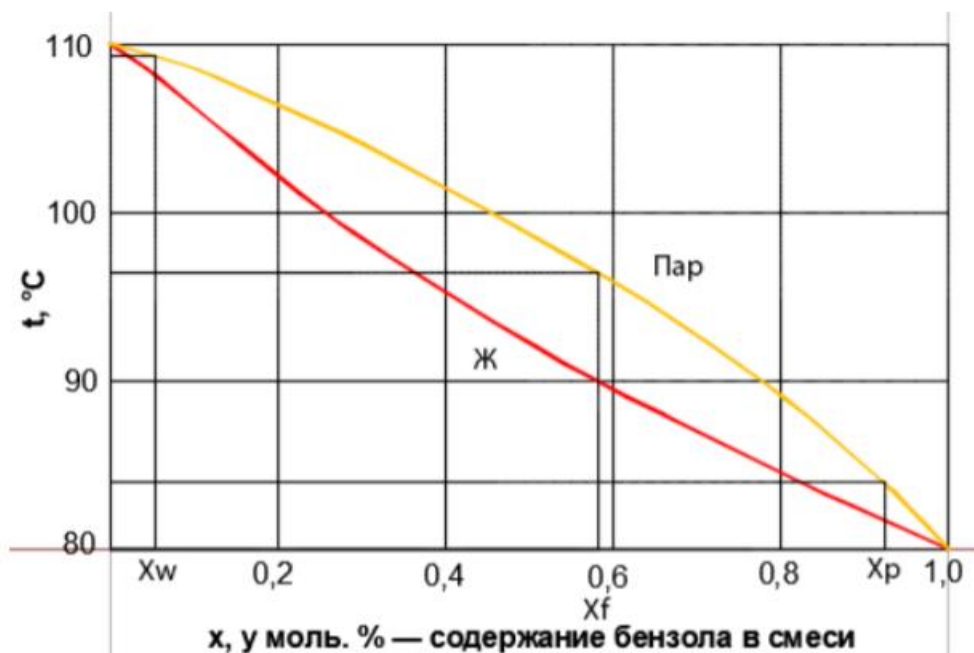


Рисунок 4.1- t, x, y диаграмма для разделения бинарной смеси бензол – толуол [5] :

Средняя температура паров в колонне (по t-x,y диаграмме):

Вверху колонны при $y_{ср.в.} = 0,79 \Rightarrow t_B = 83^\circ\text{C}$.

Внизу колонны при $y_{ср.н.} = 0,335 \Rightarrow t_H = 100^\circ\text{C}$.

Отсюда получим:

$$\rho_{ув} = \frac{80,94 \cdot 273}{22,4(273 + 83)} = 2,645 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\rho_{ун} = \frac{87,03 \cdot 273}{22,4(273 + 100)} = 2,906 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Температура в верху колонны для жидкости при $x_{ср.в.} = 0,71$ равняется 89°C , а в нижней части колонны при $x_{ср.н.} = 0,275$ она равна 102°C .

Плотность жидкой фазы в нижней части колонны

При средней температуре нижней части 102°C, плотности жидкого бензола из табл. IV равна $\rho_B=790,6 \text{ кг/м}^3$, толуола $\rho_T=785,8 \text{ кг/м}^3$ [2, с. 512].

По правилу аддитивности [2, с. 12]:

$$\rho_{\text{хн}} = \frac{1}{\frac{\bar{x}_{\text{ср.н.}}}{\rho_B} + \frac{1-\bar{x}_{\text{ср.н.}}}{\rho_T}} = \frac{1}{\frac{0,243}{790,6} + \frac{1-0,243}{785,8}} = 787,4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

где

$$\bar{x}_{\text{ср.н.}} = \frac{x_{\text{ср.н.}} \cdot M_B}{x_{\text{ср.н.}} \cdot M_B + (1 - x_{\text{ср.н.}}) \cdot M_T} = \frac{0,275 \cdot 78}{0,275 \cdot 78 + (1 - 0,275) \cdot 92} = 0,243$$

Плотность жидкой фазы в верхней части колонны

При средней температуре верхней части 89°C, плотности бензола и толуола равны соответственно: $\rho_B=814 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_T=807,1 \text{ кг/м}^3$ [2, с. 512]. По правилу аддитивности:

$$\rho_{\text{хв}} = \frac{1}{\frac{\bar{x}_{\text{ср.в.}}}{\rho_B} + \frac{1-\bar{x}_{\text{ср.в.}}}{\rho_T}} = \frac{1}{\frac{0,732}{814} + \frac{1-0,732}{807,1}} = 813 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

где

$$\bar{x}_{\text{ср.в.}} = \frac{0,71 \cdot 78}{0,71 \cdot 78 + (1 - 0,71) \cdot 92} = 0,732$$

Средняя плотность жидкости в колонне:

$$\rho_{\text{хв}} = \rho_{\text{хн}} = \rho_{\text{ж}} = \frac{813 + 787,4}{2} = 800,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Расчет скорости пара в колоннах с ситчатыми тарелками выполняется по уравнению 5.33 [3, с. 205]:

$$\omega = 0,05 \sqrt{\rho_x / \rho_y};$$

Допустимая скорость в верхней и нижней частях колонны соответственно равна:

$$\omega_B = 0,05 \sqrt{\rho_{\text{ж}} / \rho_{\text{ув}}} = 0,05 \sqrt{800,2 / 2,645} = 0,87 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\omega_H = 0,05 \sqrt{\rho_{\text{ж}} / \rho_{\text{ун}}} = 0,05 \sqrt{800,2 / 2,906} = 0,83 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ориентировочный диаметр колонны определяют из уравнения расхода [3, с. 237]:

$$d = \sqrt{4G / (\pi \omega \rho_y)}.$$

В данном случае скорости ω_B и ω_H мало отличаются друг от друга; используем в расчете среднюю скорость паров:

$$\omega = \frac{0,87 + 0,83}{2} = 0,85 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Принимаем средний массовый поток пара в колонне G равным полусумме G_B и G_H :

$$G = \frac{2,74 + 2,16}{2} = 3,33 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Средняя плотность паров

$$\rho_y = \frac{\rho_{ув} + \rho_{ун}}{2} = \frac{2,645 + 2,906}{2} = 2,796 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Диаметр колонны:

$$d = \sqrt{4 \cdot 3,33 / (3,14 \cdot 0,85 \cdot 2,796)} = 1,34 \text{ м.}$$

Выберем стандартный внутренний диаметр колонны $d=1400$ мм. При этом скорость пара:

$$\omega = \omega_{\text{ср}} \left(\frac{d_{\text{ср}}}{d_{\text{ст}}} \right)^2 = 0,85 \cdot \left(\frac{1,34}{1,4} \right)^2 = 0,78 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

По каталогу для колонны диаметром 1400 мм выбираем ситчатую тарелку ТС-Р со следующими конструктивными размерами [3, с. 216]:

Таблица 3 – Техническая характеристика ситчатых тарелок типа ТС-Р

Параметр	Значение
Свободное сечение колонны, м^2	1,54
Рабочее сечение тарелки, S_T , м^2	1,368
Диаметр отверстия, d , мм	8
Шаг между отверстиями, t , мм	20
Относительное свободное сечение тарелки, F_C , %	13,9
Сечение перелива, м^2	0,087
Относительная площадь перелива, %	5,65
Периметр перелива, L_c , м	0,86
Масса, кг	72

Скорость пара в рабочем сечении тарелки

$$\omega_T = \omega \cdot 0,785 \cdot \frac{d^2}{S_T} = \frac{0,78 \cdot 0,785 \cdot 1,4^2}{1,368} = 0,88 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

4.2 Высота колонны

Высоту светлого слоя жидкости для ситчатых тарелок находят по уравнению [3, с. 239]:

$$h_0 = 0,787 \cdot q^{0,2} \cdot h_{\text{пер}}^{0,56} \cdot \omega_T^m \cdot [1 - 0,31 \exp(-0,11\mu_x)] \cdot (\sigma_x/\sigma_B)^{0,09}$$

где $h_{\text{пер}}$ – высота переливной перегородки, м ($h_{\text{пер}}=0,03$ м);

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

b – ширина сливной перегородки, м (периметр перелива, L_c);

$q=L/(\rho_x b)$ – удельный расход жидкости на 1 м ширины сливной перегородки, м²/с;

σ_x, σ_b – поверхностное натяжение соответственно бензола и толуола при средней температуре в колонне, 10⁻³ Н/м;

μ_x – в мПа·с;

$$m = 0,05 - 4,6 \cdot h_{\text{пер}} = 0,05 - 4,6 \cdot 0,03 = - 0,088.$$

Вязкости жидкости в верхней и нижней частях колонны находим по уравнениям [2, с. 231]:

$$\lg \mu_{xb} = x_{\text{ср.в.}} \lg \mu_b + (1 - x_{\text{ср.в.}}) \lg \mu_t;$$

$$\lg \mu_{xn} = x_{\text{ср.н.}} \lg \mu_b + (1 - x_{\text{ср.н.}}) \lg \mu_t,$$

где μ_b и μ_t – вязкости бензола и толуола при температуре смеси, мПа · с.

$$\lg \mu_{xb} = 0,71 \cdot \lg 0,65 + (1 - 0,71) \lg 0,62;$$

$$\mu_{xb} = 0,641 \text{ мПа} \cdot \text{с};$$

$$\lg \mu_{xn} = 0,275 \cdot \lg 0,65 + (1 - 0,275) \lg 0,62;$$

$$\mu_{xn} = 0,632 \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

Для верхней части колонны:

$$q_b = \frac{L_b}{\rho_{\text{ж}} \cdot b} = \frac{2.13}{800.2 \cdot 0,86} = 0,0031 \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

Для верха колонны при $t_b = 89^\circ\text{C}$

$$\sigma_{xb} = 0,71 \cdot 20,55 + (1 - 0,71) \cdot 20,87 = 20,64 \text{ Н/м}$$

$$\sigma_{bb} = 61,51 \text{ Н/м}$$

Для низа колонны при $t_n = 102^\circ\text{C}$

$$\sigma_{xn} = 0,275 \cdot 18,68 + (1 - 0,275) \cdot 19,29 = 19,12 \text{ Н/м}$$

$$\sigma_{bn} = 58,9 \text{ Н/м}$$

$$h_{0b} = 0,787 \cdot 0,0031^{0,2} \cdot 0,03^{0,56} \cdot 0,88^{-0,088} \cdot [1 - 0,31 \cdot 2,72^{(-0,11 \cdot 0,641)}] \cdot (20,64/61,52)^{0,09} = 0,0226 \text{ м}.$$

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для нижней части колонны:

$$q_n = \frac{L_n}{\rho_{\text{ж}} \cdot b} = \frac{2,39}{800,2 \cdot 0,86} = 0,0035 \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

$$h_{0n} = 0,787 \cdot 0,0035^{0,2} \cdot 0,03^{0,56} \cdot 0,88^{-0,088} \cdot [1 - 0,31 \cdot 2,72^{(-0,11 \cdot 0,632)}] \cdot (19,12/58,9)^{0,09} = 0,0229 \text{ м.}$$

Паросодержание барботажного слоя ε находят по формуле [3, с. 240]:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{Fr}}{1 + \sqrt{Fr}},$$

где $Fr = \omega^2 r / (gh_0)$.

Для колонны:

$$Fr_B = \frac{0,88^2}{9,8 \cdot 0,0226} = 3,496; \varepsilon_B = \frac{\sqrt{3,496}}{1 + \sqrt{3,496}} = 0,652.$$

$$Fr_n = \frac{0,88^2}{9,8 \cdot 0,0229} = 3,451; \varepsilon_n = \frac{\sqrt{3,451}}{1 + \sqrt{3,451}} = 0,650.$$

Рассчитаем коэффициенты молекулярной диффузии в жидкой D_x и паровой D_y фазах.

Коэффициенты диффузии в жидкости при 20°C можно вычислить по приближенной формуле [3, с. 234]:

$$D_{x20} = \frac{10^{-6} \sqrt{1/M_B + 1/M_T}}{A \cdot B \sqrt{\mu_x} (v_B^{1/3} + v_T^{1/3})^2},$$

где A, B – коэффициенты, зависящие от свойств растворенного вещества и растворителя [4];

v_M, v_B – мольные объемы компонентов в жидком состоянии при температуре кипения, $\text{см}^3/\text{моль}$ [3],

μ_x – вязкость жидкости при 20°C, $\text{мПа} \cdot \text{с}$ [2, с. 516].

Коэффициент диффузии в жидкости при средней температуре t (в °C) равен

$$D_x = D_{x20} [1 + b(t - 20)].$$

Температурный коэффициент b определяется по формуле:

$$b = 0,2 \sqrt{\mu_x} / \sqrt[3]{\rho_x},$$

где μ_x принимают при температуре 20°C, а ρ_x при соответствующей температуре в колонне.

$$\mu_{xB} = 0,65 \cdot 0,783 + (1 - 0,783) \cdot 0,62 = 0,64 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

$$\mu_{xH} = 0,65 \cdot 0,3175 + (1 - 0,3175) \cdot 0,62 = 0,63 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Вязкость паров по формуле:

$$\rho_x = y_{\text{ср.в}} M_{\text{б}} + M_{\text{т}} (1 - y_{\text{ср.в}})$$

Значения плотности для веществ [2, с. 512, Таб. IV]:

$$\rho_x = y_{\text{ср.в}} \rho_{\text{б}} + \rho_{\text{т}} (1 - y_{\text{ср.в}})$$

$$\rho_x = 879 \cdot 0,783 + 866(1 - 0,783) = 876 \text{ кг/м}^3$$

Мольный объем бензола и толуола в жидком состоянии при температуре кипения найдем в табл. 1.1.2 [4]:

$$v_{\text{б}} = 98 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}}$$

$$v_{\text{т}} = 115 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}}$$

Тогда коэффициент диффузии в жидкости для верхней части колонны при 20°C равен:

$$D_{\text{хв20}} = \frac{10^{-6} \sqrt{1/78 + 1/92}}{1 \cdot 1 \sqrt{0,64} (98^{1/3} + 115^{1/3})^2} = 2,14 \cdot 10^{-9} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Температурный коэффициент b:

$$b_{\text{в}} = 0,2 \sqrt{0,64} / \sqrt[3]{876} = 0,017.$$

Коэффициент диффузии в жидкости при средней температуре верха 89°C:

$$D_{\text{хв}} = 2,14 \cdot 10^{-9} [1 + 0,017(89 - 20)] = 4,4 \cdot 10^{-9} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Аналогично для нижней части колонны находим:

$$\lg \mu_{\text{хн}} = 0,275 \cdot \lg 0,65 + (1 - 0,275) \lg 0,62;$$

$$\mu_{\text{хн}} = 0,632 \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

$$D_{\text{хн20}} = \frac{10^{-6} \sqrt{1/78 + 1/92}}{1 \cdot 1 \sqrt{0,632} (98^{1/3} + 115^{1/3})^2} = 2,16 \cdot 10^{-9} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$b_{\text{н}} = \frac{0,2 \sqrt{0,632}}{\sqrt[3]{876}} = 0,016.$$

$$D_{\text{хн}} = 2,16 \cdot 10^{-9} [1 + 0,016(102 - 20)] = 4,88 \cdot 10^{-9} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Коэффициент диффузии в паровой фазе может быть вычислен по уравнению 6.25 [3, с. 234]:

$$D_y = \frac{4,22 \cdot 10^{-2} T^{3/2}}{P (v_{\text{б}}^{1/3} + v_{\text{т}}^{1/3})^2} \sqrt{1/M_{\text{б}} + 1/M_{\text{т}}},$$

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где T - средняя температура в соответствующей части колонны, K ;

P - абсолютное давление в колонне, $Па$.

Тогда для верхней части колонны:

$$D_{ув} = \frac{4,22 \cdot 10^{-2} \cdot (273 + 89)^{3/2}}{10^5(98 + 115^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{78} + \frac{1}{92}} = 4,9 \cdot 10^{-6} \frac{м^2}{с}.$$

Аналогичный расчет для нижней части колонны:

$$D_{ун} = \frac{4,22 \cdot 10^{-2} \cdot (273 + 102)^{3/2}}{10^5(98^{1/3} + 115^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{78} + \frac{1}{92}} = 5,23 \cdot 10^{-6} \frac{м^2}{с}.$$

Уравнения 6.37 и 6.38 [3, с. 239] для расчета коэффициентов массоотдачи имеют вид:

$$\beta_{xf} = 6,24 \cdot 10^5 D_x^{0,5} \left(\frac{U}{1 - \varepsilon} \right)^{0,5} h_0 \left(\frac{\mu_y}{\mu_x + \mu_y} \right)^{0,5};$$

$$\beta_{yf} = 6,24 \cdot 10^5 F_c D_y^{0,5} \left(\frac{\omega_T}{\varepsilon} \right)^{0,5} h_0 \left(\frac{\mu_y}{\mu_x + \mu_y} \right)^{0,5}.$$

Вязкости паров в верхней и нижней части колонны рассчитываются по уравнениям [3, с. 234]:

$$\mu_{ув} = \frac{M'_B}{y_{ср.в.} M_B / \mu_B + (1 - y_{ср.в.}) M_T / \mu_T};$$

$$\mu_{ун} = \frac{M'_H}{y_{ср.н.} M_B / \mu_B + (1 - y_{ср.н.}) M_T / \mu_T},$$

где μ_B и μ_T – вязкость паров бензола и толуола при средней температуре соответствующей части колонны, $мПа \cdot с$ [7].

Отсюда:

$$\mu_{ув} = \frac{80,94}{0,79 \cdot 78/0,00915 + (1 - 0,79) \cdot 92/0,00843} = 0,00897 \text{ мПа} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{ун} = \frac{87,03}{0,355 \cdot 78/0,00927 + (1 - 0,355) \cdot 92/0,008194} = 0,00997 \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

Вычисляем коэффициенты массоотдачи.

Для верхней части колонны:

коэффициент массоотдачи в жидкой фазе:

$$U = \frac{L_B}{\rho_{хв} \cdot S_T} = \frac{2,13}{800,2 \cdot 1,368} = 0,0019 \frac{м^3}{м^2 \cdot с}.$$

$$\beta_{xf} = 6,24 \cdot 10^5 (4,4 \cdot 10^{-9})^{0,5} \left(\frac{0,0019}{1 - 0,652} \right)^{0,5} \cdot 0,0226 \left(\frac{0,00897}{0,31 + 0,00897} \right)^{0,5} = 0,0116 \frac{м}{с};$$

коэффициент массоотдачи в паровой фазе:

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\beta_{yf} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot 0,105(5,23 \cdot 10^{-6})^{0,5} \left(\frac{0,88}{0,652} \right)^{0,5} \cdot 0,0226 \left(\frac{0,00897}{0,31 + 0,00897} \right)^{0,5}$$

$$= 0,716 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Для нижней части колонны:

коэффициент массоотдачи в жидкой фазе:

$$U = \frac{L_{\text{н}}}{\rho_{\text{хн}} \cdot S_T} = \frac{2,39}{800,2 \cdot 1,368} = 0,002183 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}.$$

$$\beta_{xf} = 6,24 \cdot 10^5 (4,4 \cdot 10^{-9})^{0,5} \left(\frac{0,002183}{1 - 0,652} \right)^{0,5} \cdot 0,0226 \cdot$$

$$\cdot \left(\frac{0,00897}{0,31 + 0,00897} \right)^{0,5} = 0,0237 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

коэффициент массоотдачи в паровой фазе:

$$\beta_{yf} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot 0,147 \cdot (2,33 \cdot 10^{-5})^{0,5} \left(\frac{1,51}{0,758} \right)^{0,5} \cdot 0,02373 \cdot \left(\frac{0,01203}{0,337 + 0,01203} \right)^{0,5}$$

$$= 0,956 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Пересчитаем коэффициенты массоотдачи на кмоль/(м²·с):

для верхней части колонны

$$\beta_{xf} = 0,00612 \cdot \frac{\rho_{\text{хв}}}{M_{\text{в}}} = 0,0116 \cdot \frac{800,2}{82,06} = 0,113 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}};$$

$$\beta_{yf} = 2,03 \cdot \frac{\rho_{\text{ув}}}{M'_{\text{в}}} = 0,716 \cdot \frac{2,645}{80,94} = 0,023 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}.$$

для нижней части колонны

$$\beta_{xf} = 0,01162 \cdot \frac{\rho_{\text{хн}}}{M_{\text{н}}} = 0,0237 \cdot \frac{800,2}{78,15} = 0,243 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}};$$

$$\beta_{yf} = 2,53 \cdot \frac{\rho_{\text{ун}}}{M'_{\text{н}}} = 0,956 \cdot \frac{2,906}{87,03} = 0,032 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}.$$

Построим кинетическую линию и определим высоту колонны.

Коэффициенты массоотдачи, рассчитанные по средним значениям скоростей и физических свойств паровой и жидкой фаз, постоянны для верхней и нижней частей колонны. В то же время коэффициент массопередачи – величина переменная, зависящая от кривизны линии равновесия, т.е. от коэффициента распределения. Поэтому для определения данных, по которым строится кинетическая линия,

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

необходимо вычислить несколько значений коэффициента массопередачи в интервале изменения состава жидкости от x_w до x_p .

Возьмем $x=0,45$ (рис. 11).

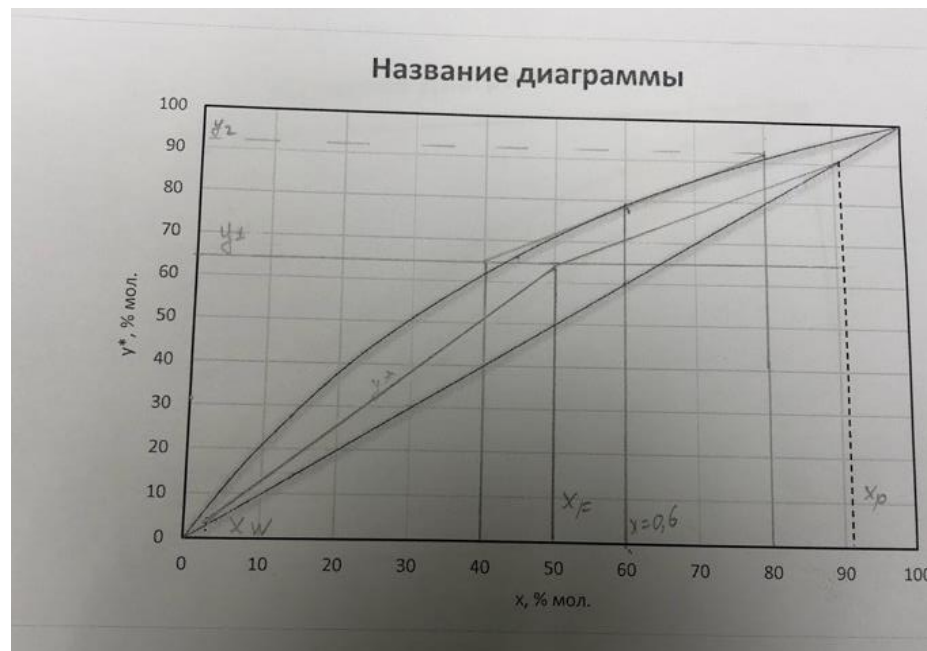


Рисунок 4.2 – Изображение определения коэффициента распределения компонента в интервале изменения состава жидкости от x_w до x_p

Коэффициент распределения компонента по фазам (тангенс угла наклона равновесной линии в точке $x=0,6$):

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{0,935 - 0,635}{0,8 - 0,4} = 0,8$$

Коэффициент массопередачи вычисляем по коэффициентам массоотдачи в верхней части колонны [3, с. 241]:

$$K_{yf} = \frac{1}{1/\beta_{yf} + m/\beta_{xf}} = \frac{1}{1/0,716 + 0,8/0,0116} = 0,0142 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$$

Общее число единиц переноса на тарелку находим по уравнению:

$$n_{oy} = \frac{K_{yf} M'}{\omega_T \rho_y} = \frac{0,0142 \cdot 80,94}{0,88 \cdot 2,796} = 0,467.$$

Локальная эффективность равна:

$$E_y = 1 - e^{-n_{oy}} = 1 - e^{-0,467} = 0,373.$$

Для определения эффективности по Мэрфри необходимо рассчитать фактор массопередачи λ , долю байпасирующей жидкости θ , число ячеек полного перемешивания S и межтарельчатый унос e .

Для верхней части колонны фактор массопередачи равен:

$$\lambda = \frac{m(R + 1)}{R} = \frac{0,8(1,91 + 1)}{1,91} = 1,22.$$

В случае рассмотрения фактора массопередачи для нижней части колонны:

$$\lambda = \frac{m(R + 1)}{R + f},$$

где f – относительный мольный расход питания:

$$f = \frac{x_P - x_W}{x_F - x_W}.$$

Долю байпасирующей жидкости принимаем $\theta = 0,1$. Для определения числа ячеек полного перемешивания (S) как отношение длины пути жидкости на тарелке l_T к длине l , примем $l = 350$ мм.

Длину пути жидкости определим как расстояние между переливными устройствами:

$$l_T = \sqrt{d^2 - b^2} = \sqrt{1,4^2 - 0,795^2} = 1,33 \text{ м},$$

где b – периметр перелива, м (см. табл. 3);

d – внутренний диаметр колонны, м.

Тогда число ячеек полного перемешивания на тарелке равно:

$$S = \frac{l_T}{l} = \frac{1,33}{0,35} \approx 4.$$

Коэффициент m' , учитывающий влияние на унос физических свойств жидкости и пара, определяют по уравнению

$$m' = 1,15 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\sigma_x}{\rho_y} \right)^{0,295} \left(\frac{\rho_x - \rho_y}{\mu_y} \right)^{0,425},$$

откуда

$$m' = 1,15 \cdot 10^{-3} \left(\frac{20 \cdot 10^{-3}}{2,796} \right)^{0,295} \left(\frac{876 - 2,796}{0,00897 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,425} = 0,661.$$

Высота сепарационного пространства равна расстоянию между верхним уровнем барботажного слоя и плоскостью тарелки, расположенной выше:

$$H_c = H - h_{\pi}.$$

Примем межтарельчатое расстояние $H = 500$ мм.

Высота сепарационного пространства в верхней части колонны:

$$h_{\pi} = h_{0B} / (1 - \varepsilon_B) = 0,0226 / (1 - 0,652) = 0,0079 \text{ м}.$$

Тогда $H_c = 0,5 - 0,0079 = 0,4921$ м.

$$\omega_T / (m' H_c) = 0,88 / (0,661 \cdot 0,4921) = 2,7.$$

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

При таком значении комплекса $\omega_T/(m'H_c)$ унос $e=0,1$ кг/кг по рис. 6.7 [3, с. 242].
Унос жидкости в верхней части колонны мало отличается от уноса в нижней части.

Определим КПД по Мэрфри [3, с. 243]:

$$B = \frac{\lambda(E_y + e/m)}{(1 - \theta)(1 + e\lambda/m)} = \frac{1,22(0,373 + \frac{0,16}{0,8})}{(1 - 0,1)(1 + 0,1 \cdot \frac{1,22}{0,8})} = 0,674;$$

$$E''_{My} = \frac{E_y}{B} \left[\left(1 + \frac{B}{S} \right)^S - 1 \right] = \frac{0,373}{0,674} \left[\left(1 + \frac{0,674}{4} \right)^4 - 1 \right] = 0,478;$$

$$E'_{My} = \frac{E''_{My}}{1 + \lambda\theta E''_{My}/(1 - \theta)} = \frac{0,478}{1 + 1,22 \cdot 0,1 \cdot 1,22/(1 - 0,1)} = 0,422;$$

$$E_{My} = \frac{E'_{My}}{1 + e\lambda E'_{My}/[m(1 - \theta)]} = \frac{0,422}{1 + \frac{0,1 \cdot 1,22 \cdot 0,422}{0,8(1 - 0,1)}} = 0,394.$$

Зная эффективность по Мэрфри, можно определить концентрацию легколетучего компонента в паре на выходе из тарелки y_k по соотношению

$$E_{My} = (y_k - y_n)/(y^* - y_n),$$

где y_n и y^* – концентрация соответственно легколетучего компонента в паре на входе в тарелку и равновесная с жидкостью на тарелке.

Отсюда

$$y_k = y_n + E_{My}(y^* - y_n) = 0,6 + 0,394(0,79 - 0,6) = 0,714.$$

Аналогичным образом подсчитаны y_k для других составов жидкости. Результаты расчета параметров, необходимых для построения кинетической линии, приведены ниже.

Таблица 4 – Параметры для построения кинетической линии

Параметр	Нижняя часть			Верхняя часть колонны			
x	0.07	0.15	0.3	0.45	0.6	0.75	0.9
m	1.9	1.69	1.24	0.9	0.8	0.61	0.43
K_{yf}	0.0061	0.0068	0.0092	0.013	0.014	0.019	0.026
n_{oy}	0.199	0.224	0.304	0.417	0.467	0.609	0.855
E_y	0.181	0.2	0.262	0.341	0.373	0.456	0.575
B	0.885	0.876	0.849	0.812	0.674	0.756	0.693
E''_{My}	0.25	0.276	0.358	0.459	0.478	0.603	0.742
E'_{My}	0.231	0.256	0.333	0.429	0.422	0.567	0.704
E_{My}	0.223	0.246	0.315	0.4	0.394	0.518	0.629
y_k	0.033	0.192	0.363	0.538	0.675	0.817	0.938

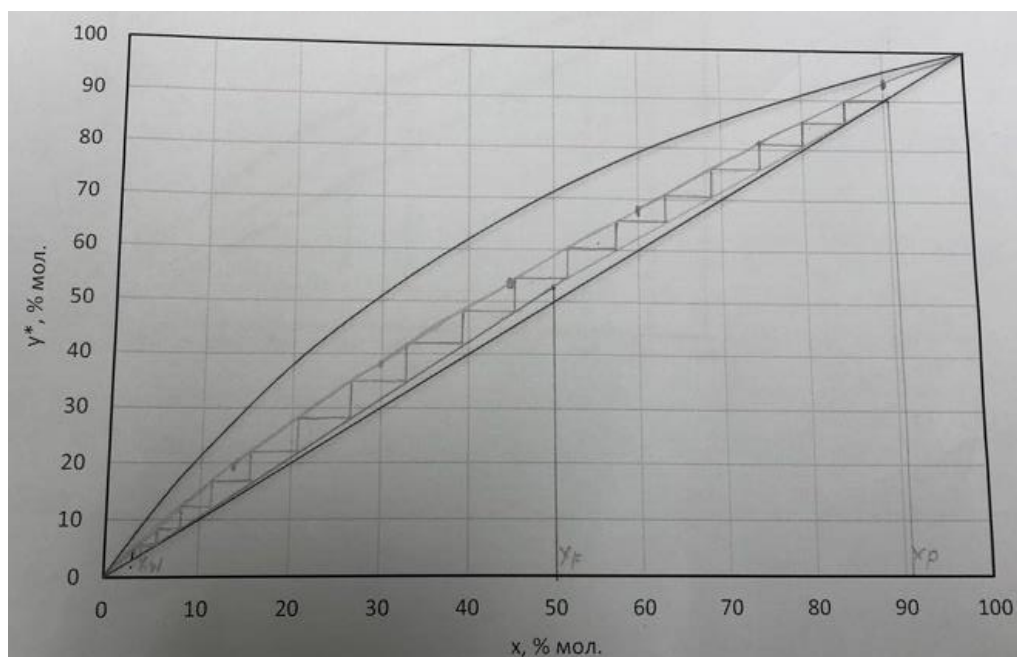


Рисунок 4.3 – Изображения построения кинетической линии

После построения кинетической линии находим общее число действительных тарелок:

$$N_{\theta}=8; N_{\eta}=9;$$

$$N=N_{\theta}+N_{\eta}=8+9=17.$$

Высоту тарельчатой ректификационной колонны определим по формуле:

$$H_{\kappa} = (N-1) \cdot h + z_{\theta} + z_{\eta},$$

где h – расстояние между тарелками, м;

z_{θ} и z_{η} – расстояние соответственно между верхней тарелкой и крышкой колонны и

между днищем колонны и нижней тарелкой, м;

С учетом расположения четырех люков для обслуживания тарелок, высота колонны будет равна:

$$H_k = (17-1) \cdot 0,5 + 1,0 + 2,0 = 11 \text{ м.}$$

4.3 Гидравлическое сопротивление тарелок колонны

Гидравлическое сопротивление тарелок колонны определяют по формуле 6.45 [3, с. 244]:

$$\Delta P_k = \Delta P_B N_B + \Delta P_H N_H,$$

где ΔP_B и ΔP_H – гидравлическое сопротивление тарелки верхней и нижней части колонны, Па.

Гидравлическое сопротивление тарелок колонны определяют по формуле 6.45 [3, с. 244]:

$$\Delta P_k = \Delta P_B N_B + \Delta P_H N_H,$$

где ΔP_B и ΔP_H – гидравлическое сопротивление тарелки верхней и нижней части колонны, Па.

Гидравлическое сопротивление одной тарелки определяется по формуле 5.56 [3, с. 209]:

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_{\Pi} + \Delta P_{\sigma},$$

где ΔP_c – сопротивление сухой тарелки, Па;

ΔP_{Π} – сопротивление газожидкостного слоя, Па;

ΔP_{σ} – сопротивление, обусловленное силами поверхностного натяжения, Па.

Сопротивление сухой тарелки определяется по формуле 5.57 [3, с. 209]:

$$\Delta P_c = \frac{\xi \omega^2 \rho_y}{2 F_c^2},$$

где ξ – коэффициент сопротивления сухих тарелок (принимается для ситчатых тарелок $\xi = 1,5$);

ρ_y – средняя плотность пара в колонне, кг/м³;

F_c – относительное свободное сечение тарелки;

ω – скорость пара в рабочем сечении тарелки, м/с.

$$\Delta P_c = \frac{1,5 \cdot 0,88^2 \cdot 2,796}{2 \cdot 0,139^2} = 83,28 \text{ Па.}$$

Гидравлическое сопротивление газожидкостного слоя на тарелках различно для верхней и нижней частей колонны:

$$\Delta P_{\Pi B} = g \rho_{xв} h_{0B} = 9,81 \cdot 800,2 \cdot 0,0226 = 177,41 \text{ Па;}$$

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Delta P_{\text{пн}} = g \rho_{\text{хн}} h_{0\text{н}} = 9,81 \cdot 800,2 \cdot 0,0229 = 179,76 \text{ Па.}$$

Гидравлическое сопротивление, обусловленное силами поверхностного натяжения, равно

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4\sigma}{d_3} = \frac{4 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{0,008} = 10 \text{ Па.}$$

4.4 Тепловой расчет

Расход теплоты, отдаваемой охлаждающей воде в дефлегматоре-конденсаторе находим по уравнению 7.15 [2, с. 321]:

$$Q_d = P(1 + R)r_p = 1,06(1 + 1,91) \cdot 393,8 \cdot 10^3 = 1214715,48 \text{ Вт.}$$

Здесь

$$r_p = \bar{x}_p r_B + (1 - \bar{x}_p) r_T = 0,95 \cdot 394,6 + (1 - 0,95) \cdot 378,3 = 393,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

где r_B и r_T – удельные теплоты конденсации бензола и толуола при $t_p = 81^\circ\text{C}$ (температуру определили по рис. 12 при $x_p = 0,93$) [2, с. 541], кДж/кг.

Расход теплоты, получаемой в кубе-испарителе от греющего пара, находим по уравнению 7.14 [2, с. 321]:

$$Q_k = Q_d + P c_p t_p + W c_w t_w - F c_F t_F + Q_{\text{пот.}}$$

По рис. 12: при $x_w = 0,05$ $t_w = 110^\circ\text{C}$;

при $x_F = 0,49$ $t_F = 89^\circ\text{C}$.

$$Q_k = Q_d + G_d \cdot C_d \cdot t_d + G_w \cdot C_w \cdot t_w - G_F \cdot C_F \cdot t_F + Q_{\text{пот.}},$$

где $Q_{\text{пот}}$ приняты в размере 3% от полезно затрачиваемой теплоты; удельные теплоёмкости взяты соответственно при $t_d = 81^\circ\text{C}$, $t_w = 110^\circ\text{C}$, $t_F = 89^\circ\text{C}$, температура кипения исходной смеси t_F определена по t - x -у по диаграмме.

$$C = X \cdot C_6 + (1 - X) C_T$$

$$C_w = 1893 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K});$$

$$C_F = 1919 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K});$$

$$C_d = 1989 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K}).$$

$$C_6, C_T - [2, \text{с. 562, Рис. XI}]$$

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q_K = (1214715.48 + 1,06 \cdot 1893 \cdot 81 + 1.25 \cdot 1893 \cdot 110 - 2,31 \cdot 1919 \cdot 89) \cdot 1,03 = 1243008 \text{ Вт.}$$

Расход теплоты в паровом подогревателе исходной смеси:

$$Q_F = 1,05 \cdot G_F \cdot C_F \cdot (t_F - t_{\text{нач}}),$$

где тепловые потери приняты в размере 5%, удельная теплоёмкость исходной смеси

$$C_F = 1801 \cdot 0,45 + (1 - 0,45) \cdot 1759 = 1778 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$$

при $t = (91 + 18)/2 = 54,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$Q_F = 1,05 \cdot 2,31 \cdot 1783 \cdot (89 - 18) = 307051 \text{ Вт.}$$

Расход теплоты, отдаваемой охлаждающей воде в водяном холодильнике дистилята

$$Q_d = G_d \cdot C_d (t_p - t_{\text{кон}}) = 1,25 \cdot 1989 (81 - 25) = 139230 \text{ Вт}$$

При $t = (81 + 25)/2 = 53 \text{ }^\circ\text{C}$.

Расход теплоты в водяном холодильнике кубового остатка

$$Q_w = G_w \cdot C_w (t_w - t_{\text{кон}}) = 1,06 \cdot 1893 \cdot (110 - 25) = 170559 \text{ Вт}$$

При $t = (110 + 25)/2 = 67 \text{ }^\circ\text{C}$.

Расход греющего пара при $R_{\text{абс.}} = 4 \text{ кгс/см}^2$ и $a = 5\%$.

В кубе испарителя:

$$G_{\text{г.п.}} = \frac{Q_d}{r_p} \cdot x = \frac{1214715}{2141} \cdot 10^3 \cdot 0,95 = 0,54 \text{ кг/с}$$

В подогревателе исходной смеси:

$$G_{\text{г.п.}} = \frac{Q}{r_p} \cdot x = \frac{307051}{2141} \cdot 10^3 \cdot 0,95 = 0,14 \text{ кг/с}$$

Всего: 0,68 кг/с или 2,448 т/ч

Расход охлаждающей воды при нагреве ее на $20 \text{ }^\circ\text{C}$:

а) в дефлегматоре

$$V_B = \frac{Q_d}{c_B (t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}) \rho_B} = \frac{1214715,48}{4190 \cdot 20 \cdot 1000} = 0,0145 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

б) в водяном холодильнике дистиллята

$$V_B = \frac{139230}{4190 \cdot 20 \cdot 1000} = 0,0017 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

в) в водяном холодильнике кубового остатка

$$V_B = \frac{170559}{4190 \cdot 20 \cdot 1000} = 0,0020 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Всего: $0,0145+0,0017+0,0020=0,0182 \text{ м}^3/\text{с}$ или $66 \text{ м}^3/\text{ч}$.

4.5 Расчет тепловой изоляции

Толщину тепловой изоляции находят из равенства удельных тепловых потоков через слой изоляции от поверхности изоляции в окружающую среду:

$$\alpha_B \cdot (t_{\text{ст}2} - t_B) = (\lambda_{\text{и}} / \delta_{\text{и}}) \cdot (t_{\text{ст}1} - t_{\text{ст}2}),$$

откуда толщина тепловой изоляции равна

$$\delta_{\text{и}} = \frac{\lambda_{\text{и}} \cdot (t_{\text{ст}1} - t_{\text{ст}2})}{\alpha_B \cdot (t_{\text{ст}2} - t_B)}.$$

Здесь $\alpha_B = 9,3 + 0,3058 \cdot t_{\text{ст}2}$ – коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$t_{\text{ст}2}$ – температура изоляции со стороны окружающей среды (примем 10°C);

$t_{\text{ст}1}$ – температура изоляции со стороны аппарата ($t_{\text{ст}1} = t_w = 110^\circ\text{C}$);

t_B – температура окружающей среды (примем -10°C);

$\lambda_{\text{и}}$ – коэффициент теплопроводности изоляционного материала, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Рассчитаем толщину тепловой изоляции:

$$\alpha_B = 9,3 + 0,3058 \cdot 10 = 12,36 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

В качестве материала для тепловой изоляции выберем совелит (85 % магнезии + 15 % асбеста), имеющей коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{и}} = 0,098 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. [2, с. 529].

Толщина тепловой изоляции равна:

$$\delta_{\text{и}} = \frac{0,098 \cdot (110 - 10)}{12,36 \cdot (10 + 10)} = 0,04 \text{ м}.$$

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5 Механический расчет

Целью механического расчета является обеспечение надежности оборудования как в целом так узлов и деталей.

G_i - вес i -го (1, 2, k, z-го) участка аппарата, Н

h_i (h_1, h_2, h_z) - высота i -го (1, 2, z-го) участка аппарата (рисунок 1),

h_0 - высота расчетного сечения аппарата от поверхности земли
, м

$x_i(x_k)$ - расстояние от середины i -го (k-го) участка от поверхности земли ,

x_j - высота обслуживающей площадки от поверхности земли, м

P_i - Ветровая нагрузка на i -м участке, Н

5.1 Описание устройства колонны и её принципа работы

На рисунке 5.1 изображена расчетная модель ректификационной колонны.

В дипломном проекте необходимо рассчитать ректификационную колонну тарельчатого типа для разделения бинарной смеси бензол – толуол, производительностью 2,31 кг/с.

Содержание НКК: $x_F = 0,49$ и $\bar{x}_F = 0,45$ – мольная и массовая доли содержания низкокипящего компонента (в дальнейшем НК) в питании;

$x_P = 0,93$ и $\bar{x}_P = 0,92$ – мольная и массовая доли содержания НК в дистилляте;

$x_W = 0,06$ и $\bar{x}_W = 0,05$ – мольная и массовая доли содержания НК в кубовом остатке.

Рабочее давление в колонне: 0,1 МПа.

Нагретая смесь поступает на разделение в ректификационную колонну К - 101 (рисунок 2), где состав жидкости равен составу исходной смеси x_F .

Стекая вниз по колонне, жидкость взаимодействует с поднимающимся вверх паром, образующимся при кипении кубовой жидкости в кипяильнике Е - 302 (рисунок 3.1).

Начальный состав пара примерно равен составу кубового остатка x_W , т. е. обеднен легколетучим компонентом. В результате массообмена с жидкостью пар обогащается легколетучим компонентом. Для более полного обогащения верхнюю часть колонны орошают в соответствии с заданным флегмовым числом жидкостью (флегмой) состава x_D

					ФЮРА.РК.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

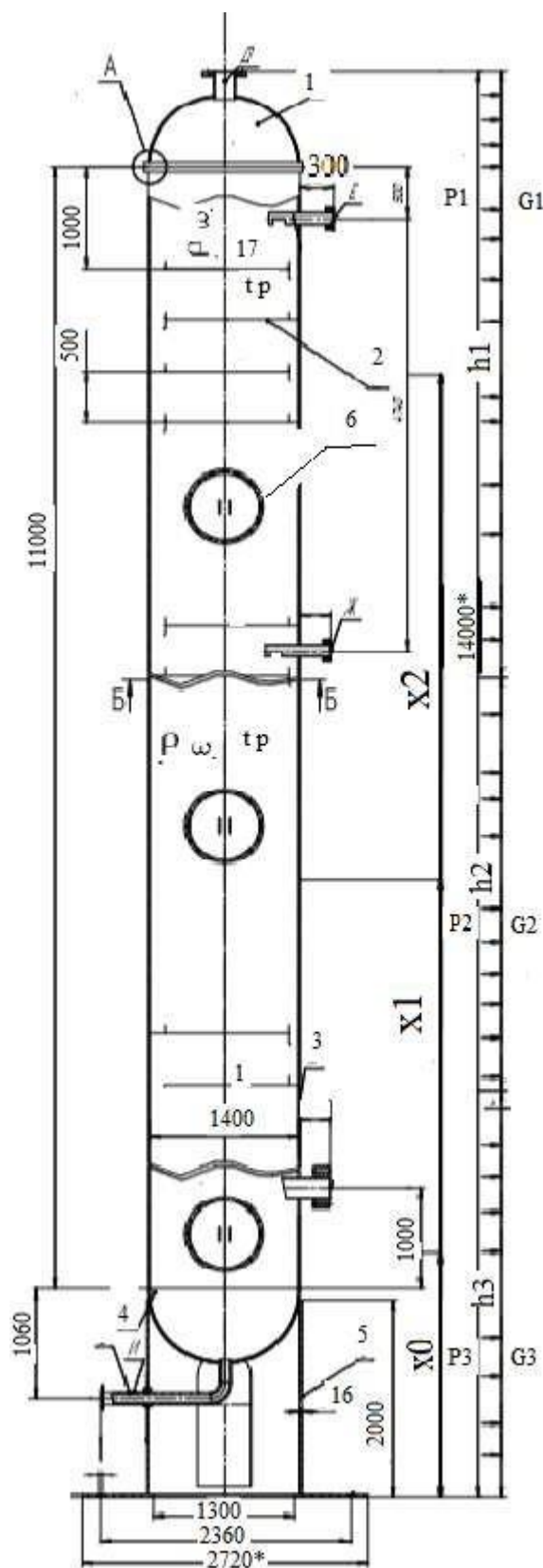


Рисунок 5.1 – Расчетная модель
ректификационной
колонны для разделения
бинарной смеси бензол -
толуол

- 1 - крышка эллиптическая;
- 2 - тарелка ситчатая;
- 3 - обечайка;
- 4 - днище эллиптическое;
- 5 - опора
цилиндрическая с
местными косынками;
- 6 - люк-лаз

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РК.000.000.ПЗ

Лист

46

Исходные данные:

Рабочее давление в колонне:

$$P := 0,1 \text{ МПа}$$

Расчетная температура:

$$t_{\text{раб}} := 110.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Диаметр аппарата:

$$D := 1400 \text{ мм}$$

Высота аппарата:

$$H := 14 \text{ м}$$

Модуль продольной упругости:

$$E := 2 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Материал аппарата сталь 09Г2С

Сталь 09Г2с относится к низколегированным сталям, общее количество легирующих добавок в которых не превышает 2,5% (в отличие от высоколегированных, где этот показатель - свыше 10%). Заменить сталь 09Г2с можно следующими марками: 09Г2, 09Г2ДТ, 09Г2Т, 10Г2с, а также 19Мн-6.

Таблица 5 - Химический состав в % материала
09Г2С

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
до 0,12	0,5 - 0,8	1,3 - 1,7	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08

Данный материал выбран из следующих соображений:

Низколегированная сталь 09Г2С обладает повышенной прочностью и ударной вязкостью в интервале температур от -400С до +4750С. Сталь в виде листового проката широко применяется для аппаратуры, работающей под давлением. Данная сталь хорошо деформируется и обрабатывается резанием. Легко сваривается всеми видами сварки.

Основные свойства материала:

Плотность стали 09Г2С:

$$\rho_{\text{мет}} := 7850 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Допускаемое напряжение материала 09Г2С при температуре 20 градусов (температура гидроиспытаний): [6]

$$\sigma_{\text{тек}20} := 196 \quad \text{МПа}$$

коэффициент запаса по пределу текучести для условий испытаний:

$$n_t := 1.1$$

Поправочный коэффициент η

$$\eta := 1$$

Допускаемое напряжение для условий

$$\sigma_{\text{н}20} := \text{ceil} \left(\eta \cdot \frac{\sigma_{\text{тек}20}}{n_t} \right) = 179 \quad \text{МПа}$$

Согласно [6] определяем допускаемое напряжение материала 09Г2С при температуре 110.6 °С:

$$\sigma_{\text{д}} := 176 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент прочности сварных швов[7]:

$$\phi := 1$$

5.2 Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

Прибавку к расчетным толщинам находим согласно [8]

Скорость коррозии материала аппарата определяем от действия заданной среды:

$$П := 0.1 \text{ год}^{\text{мм}} \text{ Срок}$$

эксплуатаций аппарата:

$$\tau := 15 \text{ лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и

$$c_1 := П * \tau = 1 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска;

$$c_2 := 0 \text{ мм}$$

Технологическая прибавка;

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 1.5 \text{ мм}$$

5.3 Расчет давлений необходимых для дальнейшего расчета:

Плотность воды при гидроиспытаниях (температура 20 °C)

Гидростатическое давление в аппарате:

$$\rho_{\text{вод}} := 998 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Ускорение свободного падения:

—

$$g := 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

с

Высота гидравлического столба в аппарате принимаем равной высоте аппарата.

$$H_{\text{гид}} := H = 14 \text{ м}$$

Давление гидравлического столба при гидроиспытаниях :

$$P_{\text{гид}} := \frac{g \cdot H_{\text{гид}} \cdot \rho_{\text{вод}}}{10^6} = 0.137 \text{ МПа}$$

Расчетное давление в аппарате при рабочих условиях:

$$P_{\text{рас}} := (P + P_{\text{гид}}) = 0.237 \text{ МПа}$$

Давление при гидравлических испытаниях:

$$\sigma_{\text{и20}}$$

$$P_{\text{и}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас}} \cdot \frac{\sigma_{\text{и20}}}{\sigma_{\text{Д}}} = 0.301 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{Д}}$$

Условное давление:

$$\sigma_{\text{и20}}$$

$$P_{\text{усл}} := P_{\text{и}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д}}}{\sigma_{\text{и20}}} = 0.306 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{Д}}$$

По рекомендациям [8, табл. 14.3, с. 403] принимаем: $P_{\text{исл}} = 0.6 \text{ МПа}$.

5.4 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки

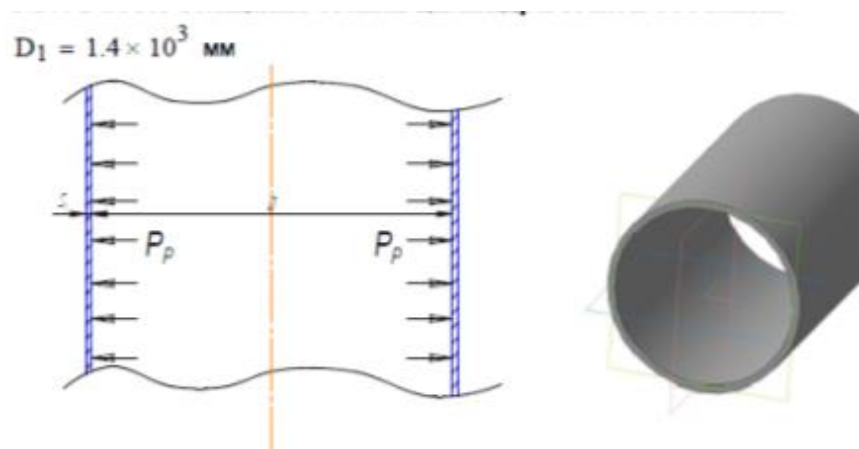


Рисунок 5.2 – Расчетная схема обечайки

Целью расчета толщины цилиндрической обечайки кожуха является обеспечение механической прочности колонны в рабочих условиях и условиях испытания.

Критерием механической надежности, является прочность и устойчивость.

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении [7]:

$$s_{p1} := \max \left(\left(\frac{P_{\text{рас}} \cdot \frac{D_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_{\text{рас}}}}{P_H \cdot \frac{D_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{H20} - P_H}} \right) \right) = 1.179 \quad \text{мм}$$

Согласно [10], определяем толщины стенок обечайки, днища, крышки, проводим проверку на прочность стенок корпуса аппарата.

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки:

$$s_{i1} := s_{p1} + c = 2.679 \text{ мм}$$

Принимаем толщину для колонных аппаратов из ряда стандартных толщин

По техническим требованиям [3], колонные аппараты диаметром 1400 мм

должны иметь толщину стенки обечайки не менее 10 мм.

Исходя из этого принимаем:

$$s_1 := 10 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Проверка}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмомент. теории выполняются"} & \text{if} \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D_1} > 0.1 \end{cases}$$

Проверка₁ = "Условия применения формул безмомент. теории выполняются"

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_D \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D_1 + (s_1 - c)} = 2.124 \text{ МПа}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при гидроиспытаниях:

$$P_{и1} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D_1 + (s_1 - c)} = 2.16 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления при рабочих условиях:

Проверка₂ := $\left\{ \begin{array}{l} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} \text{ if } P_{д1} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} \text{ otherwise} \end{array} \right.$

Проверка₂ = "Условие прочности стенки выполняется"

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия
внутреннего давления при гидраиспытаниях:

Проверка₃ := $\left\{ \begin{array}{l} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} \text{ if } P_{н1} > P_{н} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} \text{ otherwise} \end{array} \right.$

Проверка₃ = "Условие прочности стенки выполняется"

5.5 Расчёт толщины днища и крышки

Все расчетные параметры определены в пунктах выше. В целом, расчетная схема этих элементов будут совпадать, однако на днище будет приходиться большая нагрузка, поэтому следует рассчитать толщину стенки днища. Расчет ведем по [7]: Расчетная схема представлена на рисунке 5.3.

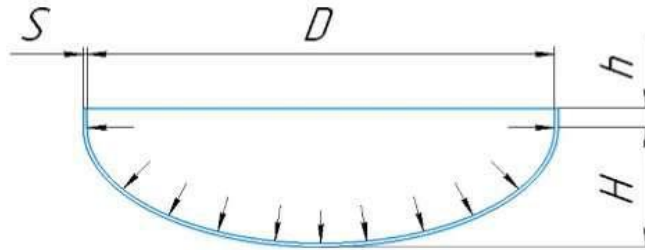


Рисунок 5.3 – Расчетная схема эллиптического днища

Цель расчета толщины днища такая же, как и у расчета обечайки, определение минимальной толщины, которое выдержит днище в рабочих условиях и испытаниях. Критерием надежности, является прочность. Выражается через допускаемое давление:

МПа.

Высота выпуклой части днища без учёта цилиндрической части:

$$H_4 := 300 \quad \text{мм}$$

Радиус кривизны в вершине крышки равен:

$$R_1 := 1400 = 1.4 \cdot 10^3 \quad \text{мм}$$

Для сварных днищ толщина стенки:

$$s_{4p_2} := \max \left(\frac{R_1 \cdot P_{\text{рас}}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д}} - 0.5 \cdot P_{\text{рас}}}, \frac{R_1 \cdot P_{\text{н}}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{н20}} - 0.5 \cdot P_{\text{н}}} \right) = 1.178 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_{\text{н4_2}} := s_{4p_2} + c = 2.678 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки эллиптического днища :

$$s_{4_2} := 10 \quad \text{мм}$$

Допускаемое избыточное давление из условия прочности вычисляют по формуле:

Для рабочих условий:

$$P_{д4_1} := \frac{2 \cdot (s_{4_2} - c) \cdot \sigma_D \cdot \phi}{R_1 + 0.5 \cdot (s_{4_2} - c)} = 2.131 \text{ МПа}$$

Для
типа испытания:

$$P_{и4_1} := \frac{2 \cdot (s_{4_2} - c) \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi}{R_1 + 0.5 \cdot (s_{4_2} - c)} = 2.167 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок:

$$\text{Проверка}_9 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{и4_1} > P_{и} \wedge P_{д4_1} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка₉ = "Условие прочности выполняется"

5.6 Расчет и подбор штуцеров, укрепления отверстий

Подбор стандартных штуцеров согласно [15]

Целью расчета укрепления отверстий заключается в определение предельного диаметра

неукрепленного отверстия и сравнения его с расчетным диаметром отверстия, если

расчетный диаметр превышает предельный диаметр, то данное отверстия подлежит укреплению в целях компенсации возникающий напряжений в зоне отверстия.

Конструктивно принимаем штуцера с уплотнительной поверхностью шип-паз так как среда внутри аппарат взрывоопасная.

Расчет диаметров патрубков:

Расчёт штуцеров сводится к определению диаметра штуцера по уравнению:

$$d = \sqrt{\frac{G}{\rho w 0,785}}$$

где w - скорость, для жидкости принимаем 2 м/с, для пара – 30 м/с.

Штуцер для ввода исходной смеси.

$$df = \sqrt{2,31 / 800,2 \cdot 2 \cdot 0,785} = 0,0429 \text{ м} = 42,9 \text{ мм.}$$

Примем патрубок с условным проходом $D_y = 100 \text{ мм.}$

4.3.2 Штуцер для ввода флегмы

$$d\phi = \sqrt{1,25 / 800,2 * 2 * 0,785} = 0,032 м = 32 мм$$

Примем патрубок с условным проходом $D_y = 100 мм$.

Штуцер для отвода кубового остатка

$$dw = \sqrt{1,06 / 800,2 * 2 * 0,785} = 0,028 м = 28 мм$$

Примем патрубок с условным проходом $D_y = 100 мм$.

Штуцер для вывода паров дистиллята

$$dd = \sqrt{1,25 / 2,796 * 30 * 0,785} = 0,138 м = 138 мм.$$

Примем условный проход $D_y = 200 мм$

Штуцер для ввода паров кубовой смеси

$$dw^* = \sqrt{1,6 / 2,796 * 30 * 0,785} = 0,127 м = 127 мм.$$

Примем условный проход $D_y = 200 мм$.

Подробный расчет патрубков по [15] приведен в приложении А.

Подбираем стандартный фланец

согласно [10]

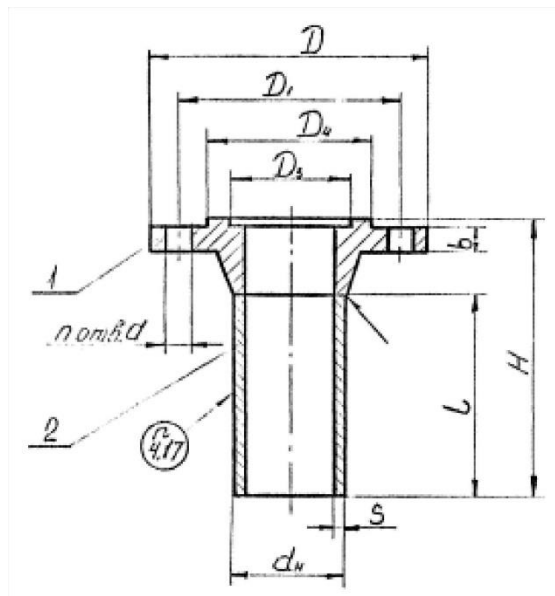


Рисунок 5.4 - Штуцера с фланцами приваренными встык с уплотнительной поверхностью типа шип-паз на условное давление 0,6 МПа

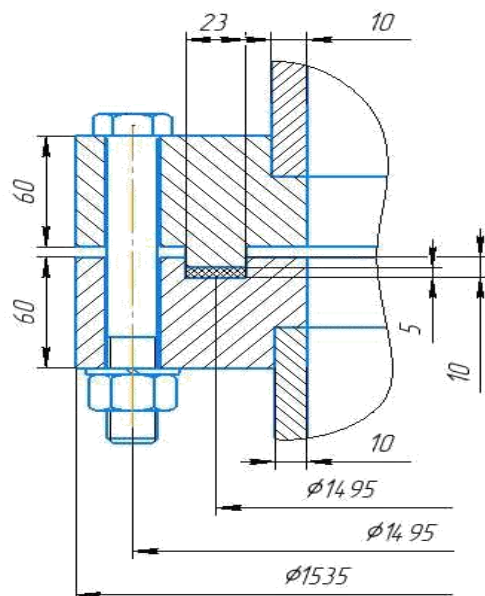


Рисунок 5.5 - Соединение фланцев типа шип-паз.

Таблица 6 - стандартные штуцера

Dy мм	D мм	L мм	H мм	dn	S мм	n
100	230	180	250	108	6	8
200	375	180	270	219	8	12

Таблица 7 - штуцера при давлении 0,6 МПа

Обозн	наименование	Кол	Dy	Py
А	Ввод исходной смеси	1	100	0,6
Б	Ввод флегмы	1	100	0,6
В	Отвод кубового остатка	3	100	0,6
Г	Вывод паров дистиллята	1	200	0,6
Д	Ввод паров кубовой смеси	1	200	0,6

5.7 Подбор и расчет люка-лаза

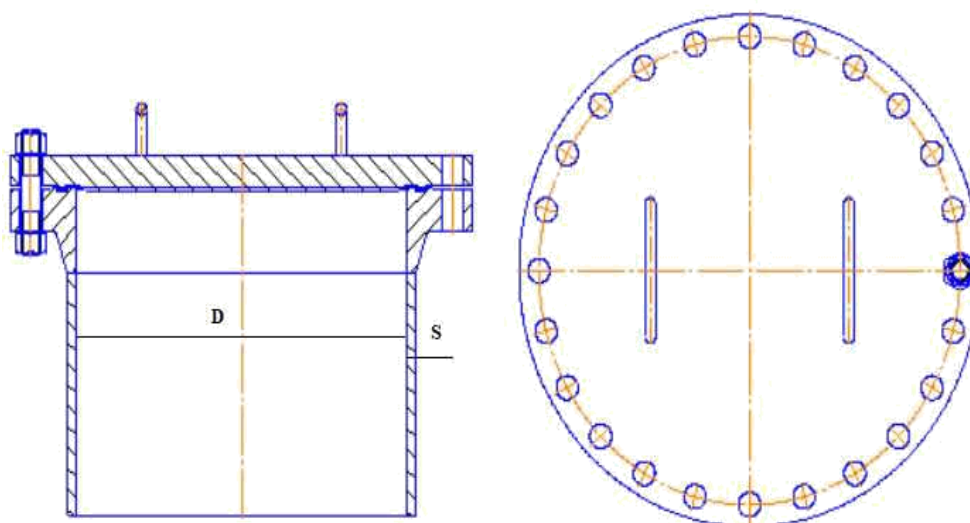


Рисунок 5.6 - Рисунок люк-лак с уплотнительной поверхностью шип-паз. [14]

Пример условного обозначения люка исполнения 1 диаметром $D_{в} = 500$ мм на условное давление 0.6 МПа с размером $S = 12$ мм, основной шифр материального исполнения люка 2, дополнительный шифр материального исполнения люка 3, шифр материального исполнения крепежных деталей 1:

Люк 1-500-0.6-12-2-3-1 ОСТ 26-2006-83.

Таблица 8 - Люк-лаз основные конструктивные размеры

Дав. условное	Диаметр внутр.	D^*	D_1^*	H^*	H_1	H_2	l	S
МПа	мм							
0.6	500	695	635	240	575	445	300	12

5.8 Прочностной расчет фланцевого

соединения люка-лаза

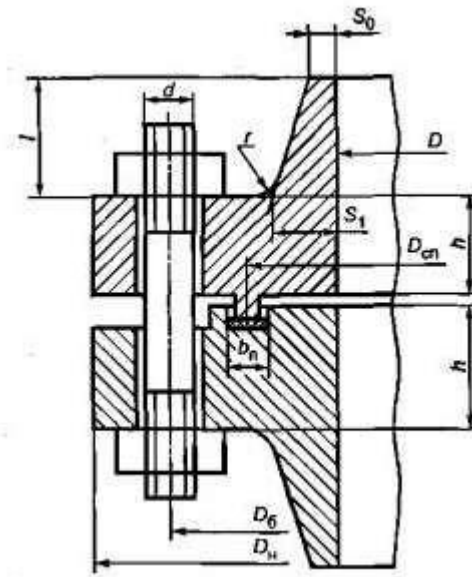


Рисунок 5.7 – Расчетная схема фланцевого соединения с приварными встык фланцами с гладкой уплотнительной поверхностью типа шип - паз

Для того чтобы соединить отдельные узлы колонны применяются фланцы.

Основные параметры, которые влияют на подбор фланцев, это внутренний диаметр аппарата, рабочее давление в нем, температура. Так как колонна работает с взрывоопасной средой то согласно [10] можно применить фланцевое соединение с уплотнительной поверхностью типа шип-паз

Тип фланца: фланцевое соединения приварные встык Тип уплотнительной поверхности: шип-паз

Расчет проводим, согласно [10]

Исходные данные для расчета: взяты из таблицы

Внутренний диаметр: $D := 500 \text{ мм}$

Наружный диаметр фланца: $D_{\text{н}} := 535 \text{ мм}$

Диаметр болтовой окружности: $D_6 := 495 \text{ мм}$

Толщина фланца: $h := 35 \text{ мм}$

Материал обечаек и фланцев - сталь 09Г2С Материал болтов - сталь 35Х Материал прокладки - паронит ПОН.

Толщина прокладки: $h_{\text{п}} := 3 \text{ мм}$

Ширина прокладки: $b_{\text{п}} := 15 \text{ мм}$

Диаметр болта: $d := 30$ мм

Средний диаметр прокладки:

$s_0 := 12$ мм

Толщина конической части втулки:

$s_{1B} := 34$ мм

Уклон втулки (принимаем):

$i := \frac{1}{3}$

Высота втулки:

$h_B := 55$ мм

Средний диаметр прокладки:

$D_{СП} := D_H - b_{П} = 520$ мм

Количество болтов:

$n := 24$ болта

Расчетная температура фланцевого соединения (не изолированного):

$t_{ф} := t_{раб} \cdot 0.96 = 106.176$ °C

Расчетная температура болтов:

$t_б := t_{раб} \cdot 0.85 = 94.01$ °C

материал для болтов: Сталь 35Х

допускаемое напряжение материала при температуре 20 °C для болта согласно [13]:

$\sigma_{620} := 230$ МПа

допускаемое напряжение материала болта при рабочей температуре $t = 94.01$ °C согласно

:

$\sigma_б := \text{Floor} \left(\text{interp} \left(\begin{matrix} 100 & & 230 \\ 150 & & 255 \end{matrix} , t_б , 0.5 \right) \right) = 227$ МПа

материал для фланцевого соединения 09Г2С

допускаемое напряжение материала при гидроиспытаниях для фланцев согласно [6]:

$\sigma_{ф20} := \sigma_{620} = 230$ МПа

допускаемое напряжение материала при рабочей температуре $t_{ф} = 106.176$ °C для фланцев согласно [6]:

Температурный коэффициент линейного расширения материала фланцев 09Г2С согласно [6, стр. 28, таблица Г1]

$$\alpha_{\text{ф}} := 12.6 \cdot 10^{-6}$$

Температурный коэффициент линейного расширения болтов 35Х согласно

$$\alpha_{\text{б}} := 13.2 \cdot 10^{-6}$$

Эффективная ширина прокладки:

-для плоских прокладок:

$$b_0 := \begin{cases} b_0 & b_{\text{п}} \leq 15 \\ b_0 & \text{Ceil}\left(3.8 \sqrt{b_{\text{п}}}, 1\right) \text{ otherwise} \end{cases} = 15 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки:

Прокладочный коэффициент m

$$m := 2.5$$

www

Удельное давление обжатия

$$q_{\text{обж}} := 20 \text{ МПа}$$

Допускаемое Удельное давление

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

Коэффициент обжатия:

$$K_{\text{обж}} := 0.9$$

Условный модуль сжатия прокладки

$$E_{\text{п}} := 200 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при
затяжке,

$$P_{обж} := 0.5 \pi D_{сп} b_0 m \quad | \quad P_{рас} = 7.253 \cdot 10^3 \quad \text{Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения,

$$R_{\Pi} := \begin{cases} \pi D_{сп} b_0 m P_{рас} & \text{if } P_{рас} > 0 \\ 1.451 \cdot 10^4 \quad \text{Н} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек) по таблице 5

$$f_{б} := 540 \quad \text{мм}^2$$

Таблица 9 - Расчетная площадь поперечного сечения болтов

$d_{б}, \text{ мм}$	.	.	.	.	.	.	20	22	24	27	30	36
$f_{б}, 10^{-4}, \text{ м}^2$	.	.	.	.	.	.	2,35	2,95	3,4	4,45	5,4	7,9
$d_{б}, \text{ мм}$	.	.	.	.	.	.	42	48	52	56	60	65
$f_{б}, 10^{-4}, \text{ м}^2$	.	.	.	.	.	.	10,9	14,4	18,2	19,65	23,0	26,0

Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра

$$A_{б} := n f_{б} = 1.296 \cdot 10^4 \quad \text{мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_{д} := \frac{\pi}{4} (D_{сп})^2 P_{рас} = 5.029 \cdot 10^4 \quad \text{Н}$$

Податливость прокладки

$$u_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} K_{обж}}{P_{рас}} = 5.512 \cdot 10^{-7} \quad \text{мм/Н}$$

Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта или опорными поверхностями гаек

$$L_{60} := 2 h + h_{\Pi} = 73 \quad \text{мм}$$

Эффективная длина болта при определении податливости

$$L_6 := \text{ceil}(L_{60} + 0.28 d) = 82 \quad \text{мм}$$

Податливость болтов

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{620} A_6} = 2.943 \cdot 10^{-8} \quad \text{мм/Н}$$

Коэффициенты β_F , β_V и f , зависящие от соотношения размеров втулки фланца, для фланцевых соединений с приварными встык фланцами с конической втулкой определяют по графикам, приведенным на рисунках К.2 - К.4, в зависимости от

$$\beta := \frac{s_1}{s_0} = 0.833$$

$$x := \frac{h_B}{\sqrt{D} \cdot s_0} = 0.71$$

- коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами:

$$\beta_F := 0.81 \quad \beta_V := 0.26 \quad f := 1$$

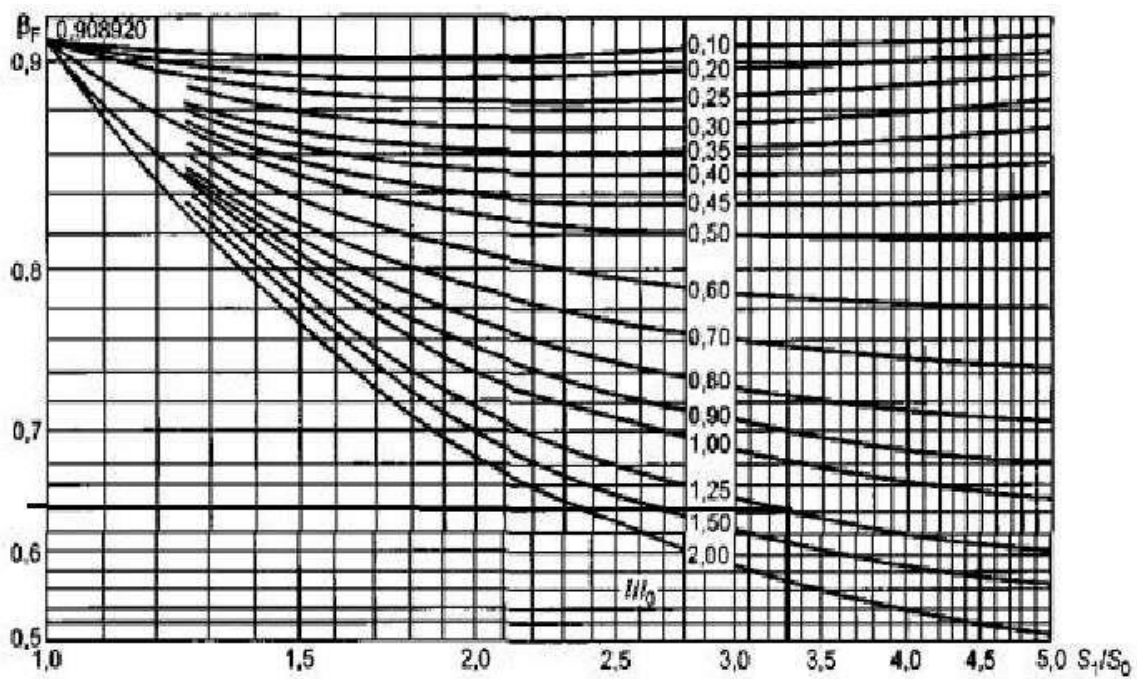


Рисунок 5.8 - Схема определения коэффициента β_F

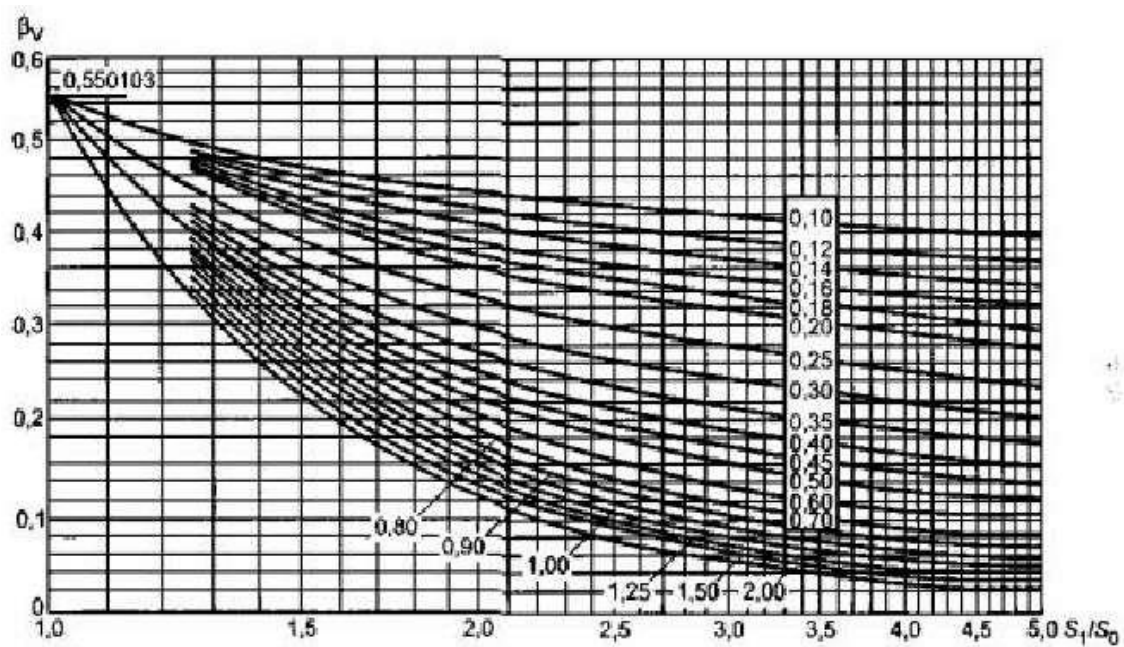


Рисунок 5.9 - Схема определения коэффициента β_V

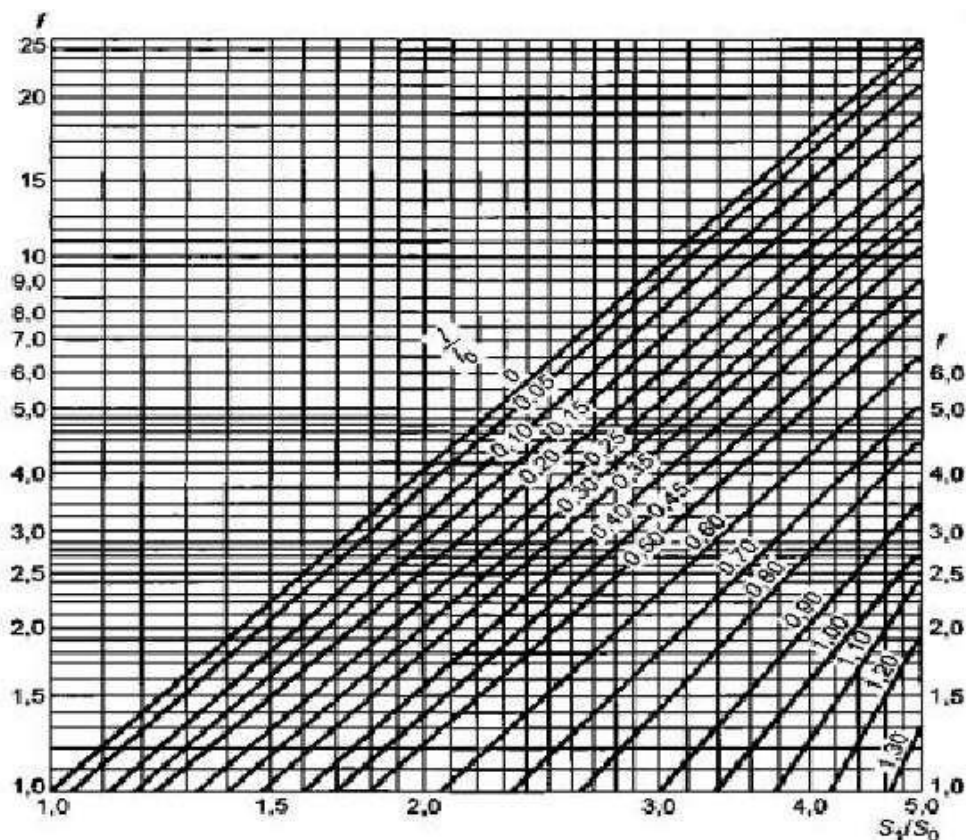


Рисунок 5.10 - Поправочный коэффициент для напряжений во втулке фланца f

Условия статической прочности фланцев:

-при затяжке:

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении s_0 условия статической прочности определяют по формулам: проверка согласно [10, стр. 15]:

с учетом стесненности температурных деформаций: $K_T := 1.3$

допускаемое значение суммарных общих и местных условных упругих мембранных и изгибных напряжений МПа;

$$\sigma_R := \sigma_6 = 227 \text{ МПа} \quad \sigma_{0M} = 7.139 \text{ МПа}$$

$$\sigma_R \cdot K_T = 295.1 \text{ МПа}$$

При затяжке:

"Условия прочности выполняются" if	$\sigma_{0M} \cdot \sigma_R \cdot K_T =$ "Условия прочности выполняются"
"Условия прочности не выполняются"	otherwise

-в рабочих условиях:

$$A := \max(|0.3 \sigma_{0p} - \sigma_{0mo_pab}|, |0.3 \sigma_{0p} + \sigma_{0mo_pab}|)$$

$$B := |0.7 \sigma_{0p} + (\sigma_{0mo_pab} - \sigma_{0mm_pab})|$$

$$B := |0.7 \sigma_{0p} - (\sigma_{0mo_pab} - \sigma_{0mm_pab})|$$

$$\max(|\sigma_{0p} - \sigma_{0mm_pab}|, |\sigma_{0p} + \sigma_{0mm_pab}|, A, \max(B, B))$$

$$\Gamma := 0.7 \sigma_{0p} + (\sigma_{0mo_pab} - \sigma_{0mm_pab})$$

$$D := \max(|\sigma_{0p} - \sigma_{0mm_pab}|, |\sigma_{0p} + \sigma_{0mm_pab}|)$$

$$E := \max(|0.3 \sigma_{0p} - \sigma_{0mo_pab}|, |0.3 \sigma_{0p} + \sigma_{0mo_pab}|) \quad \text{Ж}$$

$$:= 0.7 |\sigma_{0p} - (\sigma_{0mo_pab} - \sigma_{0mm_pab})|$$

"Условия выполняются" if $\max(D, E, \max(\text{Ж}, \Gamma)) \leq \sigma_R K_T$ "Условия выполняются" "Условия прочности не выполняются" otherwise

$$\max(D, E, \max(\text{Ж}, \Gamma)) = 46 \text{ МПа} \quad \sigma_R K_T = 295.1 \text{ МПа}$$

Проверка углов поворота фланцев:

Угол поворота приварного встык, плоского фланца и бурта свободного фланца в рабочих условиях: [10, стр. 25]

$$\theta := P_{br} \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} = 1.446 \times 10^{-5}$$

Допускаемый угол поворота фланца определяем при помощи интерполяции:

$$\theta_d := \text{Floor} \left[\text{interp} \left[\begin{pmatrix} 400 \\ 2000 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0.006 \\ 0.013 \end{pmatrix}, D \right], 0.00005 \right] = 6.4 \times 10^{-3}$$

$$\text{Усл}_{\text{поворота}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \theta \leq \theta_d \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условие выполняется"}$$

$$\theta = 1.446 \times 10^{-5} \quad \theta_d = 6.4 \times 10^{-3}$$

Подробный расчет фланцевого соединения по [10] представлен в приложении А.

5.9 Укрепление отверстий патрубков штуцеров

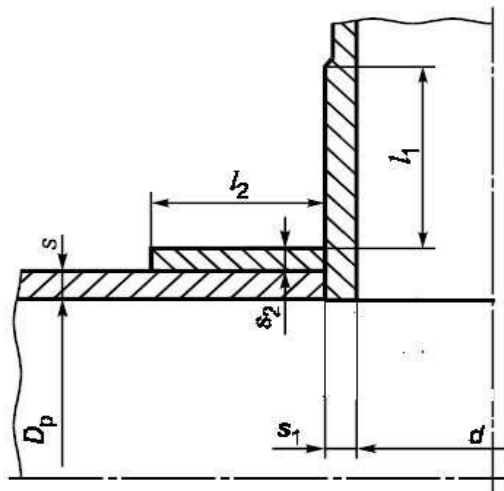


Рисунок 5.11 - Укрепление отверстий при наличии проходного штуцера
Расчет проводим, согласно № [14]:

Расчетный диаметр укрепляемых элементов:

- для цилиндрической
обечайки 1 (верх колонны) $D_{p1} :=$
 $D_1 = 1.4 \cdot 10^3 \text{ мм}$
- для цилиндрической обечайки 2 (низ колонны)
 $D_{p2} := D_2 = 1.4 \cdot 10^3 \text{ мм}$

- для эллиптической крышки:

$$D_{p3} := 2 R_1 = 2.8 \cdot 10^3 \text{ мм}$$

- для
эллиптического

$$\text{днища: } D_{p4} := 2 R_1 =$$

$$2.8 \cdot 10^3 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстий в стенках обечайки, ось
которого совпадает с нормалью к поверхности:

Расчетный диаметр отверстия штуцера входа сырья
на тарелки и (такой же диаметр имеет штуцер для
выхода

готовой продукции):

$$d_1 := \text{ceil}(100 + 2 \text{ c}) = 103 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия штуцера для выхода
конденсата из куба(такой же диаметр имеет штуцер для
входа парожидкосной смеси):

$$d_2 := \text{ceil}(150 + 2 \text{ c}) = 153 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия штуцера для орошения

$$d_3 := \text{ceil}(80 + 2 \text{ c}) = 83 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительно
укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

- для цилиндрической обечайки 1 (верх колонны)

$$d_{01} := 2 \cdot \left(\frac{s_1 - c}{s_{p1}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s_1 - c)} = 1.399 \times 10^3 \text{ мм}$$

- для цилиндрической обечайки 2 (низ колонны)

$$d_{02} := 2 \cdot \left(\frac{s_1 - c}{s_{p1}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p2} \cdot (s_1 - c)} = 1.399 \times 10^3 \text{ мм}$$

- для эллиптической крышки:

$$d_{03} := 2 \cdot \left(\frac{s_{4_2} - c}{s_{4p_2}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p3} \cdot (s_{4_2} - c)} = 1.979 \times 10^3 \text{ мм}$$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для
штуцера входа питания на тарелки:

$$\text{Расч}_{\text{отв1}} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"} & \text{if } d_1 < d_{01} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Расч}_{\text{отв1}} = \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"}$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцера выхода из куба:

$$\text{Расч}_{\text{отв2}} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"} & \text{if } d_2 < d_{02} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Расч}_{\text{отв2}} = \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"}$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцера на орошение:

$$\text{Расч}_{\text{отв3}} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"} & \text{if } d_3 < d_{01} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Расч}_{\text{отв3}} = \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"}$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для люка-лаза на обечайки:

$$\text{Расч}_{\text{отв5}} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"} & \text{if } d_3 < d_{02} \wedge d_1 < d_{02} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Расч}_{\text{отв5}} = \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"}$

5.10 Расчёт ситчатой тарелки на прогиб

Материал тарелки: Сталь 09Г2С

Диск тарелки представляет собой круглую пластину, опёртую по контуру и нагруженную равномерной нагрузкой от собственного веса и веса жидкости.

Определение толщины тарелки:

согласно [15]

- Коэффициент, зависящий от способа закрепления стенки.

$K := 0.36$

Коэффициент ослабления тарелки отверстиями:

Расстояние между центрами отверстий на

тарелке:

$t := 100 \text{ мм}$

- Меньшая сторона стенки

$$b := 390 \text{ мм}$$

Предел текучести для материала тарелки: в рабочих условиях $t_p := 110, 6 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\tau_{\text{тар}} := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left(\frac{100}{150} \right), \left(\frac{177}{171} \right), t_{\text{раб}}, 0.5 \right] \right] = 175.5 \text{ МПа}$$

Запас прочности:

$$n_T := 1.1$$

Поправочный коэффициент, учитывающий условия эксплуатации

$$\eta_T := 0.9$$

Допускаемое напряжение на изгиб для материала

тарелки:

$$\sigma_{\text{из}} := \frac{\tau_{\text{тар}}}{n_T} \quad \eta_T = 143.591 \text{ МПа}$$

Ускорение свободного
падения:

$$g = 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Высота слоя жидкости на тарелки:

$$h := 0.06 \text{ м}$$

Плотность жидкости на

тарелке:

$$\rho_{\text{жид}} := 800.2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

масса человека, назначаем конструктивно:

$$W_0 := 100 \text{ кг}$$

масса тарелки: $W_T := 70 \text{ кг}$

Диаметр = 1.4 м

Давление, действующее на тарелку

аппарата:

$$p := 4 g (W_T + W_0 + \rho_{\text{жид}} h) = 1.89 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}$$

$$1.2^2 \pi 10^6$$

расчетная толщина тарелки:

$$\frac{p}{r}$$

$$s_{\text{тар}} := K \cdot b \cdot \frac{p}{r} = 0.509 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина тарелки:

$$s_{\text{итар}} := s_{\text{тар}} + c = 2.009 \text{ мм}$$

Принимаем толщину тарелки:

$$s_{\text{т}} := 4 \text{ мм}$$

Расчет на прогиб тарелки

коэффициент для жестко закрепленной по периметру

секции равен: $K_c := 0.0206$

Модуль упругости материала

тарелки:

$$E_{\text{тар}} := 1.89 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Согласно [13]

Относительный прогиб:

$$y := K_c \cdot \frac{b^4 \cdot p}{E_{\text{тар}} \cdot s_{\text{т}}} = 1.19 \text{ мм}$$

Прогиб тарелки не должен быть больше 2 мм, условие выполняется.

$$\text{Проверка}_{\text{тар}} := \begin{cases} \text{"Прогиб нормальный"} & \text{if } y < 2 \\ \text{"Увеличить толщину тарелки"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Прогиб нормальный"}$$

Расчет на поперечный изгиб

Согласно [16]

Периметр слива:

$$P_{\text{пер}} := 5280 \text{ мм}$$

Коэффициент, зависящий от способа закрепления ребра на опорах, не

жесткое закрепление:

$$K_{\text{ребра}} := 8$$

Предельно расчетный момент сопротивления укрепляющего ребра:

$$W_p := \frac{\left(\frac{b}{3}\right)^2 \cdot \left(\frac{P_{\text{пер}}}{3}\right) \cdot p}{2 \cdot K_{\text{ребра}} \cdot \sigma_{\text{из}}} = 2 \cdot \text{мм}^3$$

Выбираем уголок согласно [16] "Уголок 35х35 ГОСТ 8509-93" с $W_p=0.93 \text{ см}^3$.

5.11 Поверочный расчет колонны

Поверочному расчету колонного аппарата на прочность, подверженного воздействиям ветровых и сейсмических нагрузок подлежат аппараты, устанавливаемые на открытой площадке или устанавливаемые в районах с сейсмичностью 7 и более баллов по MSK-64 шкале.

Номер варианта	Внутренний диаметр аппарата, мм	Толщина стенки, мм	Длина цилиндрической обечайки, не	Масса аппарата, кг	Изгибающий момент, МН*м	Давление в аппарате, МПа	Температура, °С	Марка стали	Прибавка, мм
6	1400	14	11	6065	2,2	0,1	110,6	09Г2С	1,4

Расчет проводим, согласно № [11]

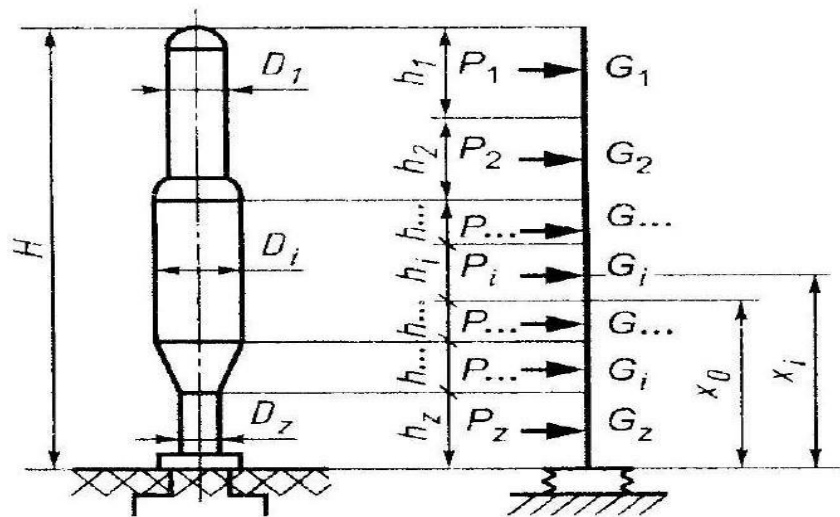


Рисунок 5.12 – Расчетная схема аппарата

В этом разделе проведены расчеты на прочность и устойчивость колонны, работающей под действием избыточного внутреннего давления, собственного веса, а также подверженной действию изгибающих моментов от ветровых нагрузок.

5.11.1 Определение расчетных усилий от ветровых

нагрузок

I1 - Момент инерции верхней части колонны, м⁴:

I2 - Момент инерции нижней части колонны, м⁴:

I3 - Момент инерции опорной обечайки колонны, м⁴:

Δ , μ , λ , γ , β_i , β_k , ε , χ_j - безразмерные коэффициенты

α - Относительное перемещение центров тяжести участков, 1/(Н*м)

T - период собственных колебаний для аппарата переменного сечения, с

Pi - Ветровая нагрузка на i-м участке, Н

Pist - Среднюю составляющую ветровой нагрузки на i-м участке, Н

Pidyn - Пульсационную составляющую ветровой нагрузки на i-м участке, Н

Mv - Расчетный изгибающий момент в сечении на высоте x0, Н*м

K - Аэродинамический коэффициент

q0 - Нормативное значение ветрового давления, Н/м²

Θi - Коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте аппарата

qist - Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки на середине i-го участка аппарата (на высоте X; над поверхностью земли), Н/м²

ξ - Коэффициент динамичности

mk - Коэффициент пульсации давления ветра для середины соответственно k-го участка на высоте xk

η_i - Приведенное относительное ускорение центра тяжести i -го участка
 ν - Коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра ν
 M_{vj} - Изгибающий момент от действия ветровой нагрузки на обслуживающую j -ю площадку, Н*м
 β - Коэффициент динамичности
 K_s - Сейсмический коэффициент
 S_i - Сейсмическую нагрузку, приложенную в середине i -го участка и соответствующую первому тону собственных колебаний аппарата, Н
 M_{\max} - Максимальный изгибающий момент в нижнем сечении аппарата при учете только первой формы колебаний, Н*м
 a_i, a_k - относительное перемещение центров тяжести i -го (k -го) участка аппарата, $1/(H \cdot m)$
 CF - коэффициент неравномерности сжатия грунта, Н/м³
 $D_i(D_1, D_z)$ - наружный диаметр i -го (1, z -го) участка аппарата, м
 E - модуль продольной упругости материала при расчетной температуре, Н/м²
 G - общий вес аппарата, Н
 G_i - вес i -го (1, 2, k , z -го) участка аппарата, Н
 g - ускорение силы тяжести, м/с²
 H - высота аппарата (рисунки 1, 3, 10), м
 H_1, H_2, H_3 - высота 1, 2, 3-го участков аппарата переменного сечения (рисунок 3), м
 $h_i(h_1, h_2, h_z)$ - высота i -го (1, 2, z -го) участка аппарата (рисунок 1), м
 I - момент инерции верхнего основного металлического сечения аппарата относительно центральной оси, м⁴
 I_F - минимальный момент инерции подошвы фундамента, м⁴
 m - число площадок над расчетным сечением
 n - число участков аппарата над расчетным сечением
 T -- период основного тона собственных колебаний аппарата, с
 x_0 - высота расчетного сечения аппарата от поверхности земли, м
 $x_i(x_k)$ - расстояние от середины i -го (k -го) участка от поверхности земли, м
 x_j - высота обслуживающей площадки от поверхности земли, м
 z - число участков
 Исходные данные
 $s := 10$ Толщина стенки, мм
 Прибавка, мм
 Внутренний диаметр аппарата, мм
 Изгибающий момент, МН

Давление в аппарате, МПа

$c := 1.4$

$D := 1400$

$M := 2.2$

Давление в аппарате, МПа

Плотность воды, кг/м³

Ускорение свободного падения, м/с²

$p := 0.1$

$\rho := 1000$

$g := 9.8$

Высота переменного сечения - Н1 := 0 м;

Высота переменного сечения - Н2 := 0 м;

Высота переменного сечения - Н3 := 0 м;

Район установки - III,

Расчетная сейсмичность, баллы: $ses := 7$

Диаметр верхней части колонны - $D1 := 1.4$ м;

Диаметр нижней части колонны - $D2 := D1$ м;

Диаметр опорной обечайки колонны - $D3 := 1.4$ м;

Материал колонны - сталь 09Г2С;

Материал опоры - сталь 09Г2С;

Толщина:

стенки в верхней части колонны - $S1 := 0.014$ м;

стенки в нижней части колонны - $S2 := 0.014$ м;

стенки опоры - $S0 := 0.014$ м;

изоляции - $S_{и} := 0.04$ м.

Прибавка к толщине стенки - $c := 0.0014$ м;

Модуль упругости материала колонны - $E := 1.932 \cdot 10^5$ Па

Ускорение свободного падения - $g := 9.81$ м/с²

5.11.2 Расчет веса аппарата

Расчет ведем по №[11]:

Вес жидкости внутри аппарата при гидроиспытаниях:

$D_{в} := 1.4$ м

$$G_{\text{жид}} := \left(\pi \cdot \frac{D_B^2}{4} \cdot 11 \right) \cdot \rho \cdot g = 1.66 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

По условию:

$$G_3 := 6065 \text{ г} = 5.95 \cdot 10^4 \quad \text{Н}$$

$$G_2 := G_3 + G_{\text{жид}} = 2.255 \cdot 10^5 \quad \text{Н}$$

$$G_1 := \frac{1}{3} G_2 = 7.518 \cdot 10^4 \quad \text{Н}$$

$$G_4 := G_3 = 5.95 \cdot 10^4 \quad \text{Н}$$

Расчет высот

Плотность материала обечайки

$$\rho_m := 7850 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \text{—}$$

$$s := 0.014 \text{ м}$$

$$D := 1.4 \text{ м}$$

Высота колонны определяется по формуле:

$$H := \frac{6065}{2 \pi s \rho_m \frac{D}{2}} = 12.554 \text{ м}$$

Принимаем

$$H := 14 \text{ м}$$

$$h := 11 \quad \text{Высота подъема жидкости при гидроиспытаниях, м}$$

$$L := 11 \quad \text{Длина цилиндрической обечайки, м}$$

Разбиваем аппарат на участки высотой $h \sim 10$ м, как показано на рисунке 1.

Принимаем

м

$$x_1 := 2 \text{ м} \quad h_1 := 6 \text{ м}$$

$$x_2 := 6 \text{ м} \quad h_2 := 4 \text{ м}$$

$$x_3 := 11 \text{ м} \quad h_3 := 4 \text{ м}$$

5.11.3 Определение периода собственных колебаний

Момент инерции верхней части колонны, м⁴:

$$I_1 := \frac{\pi (D_1 + S_1 - c)^3 (S_1 - c)}{8} = 0.014$$

$$D_2 := D_1$$

$$I_2 := \frac{\pi (D_2 + S_2 - c)^3 (S_2 - c)}{8} = 0.014$$

~~~~~

Момент инерции опорной обечайки колонны, м<sup>4</sup>:

$$I_3 := \frac{\pi (D_3 + S_0 - c)^3 (S_0 - c)}{8} = 0.014$$

Безразмерный коэффициент D по формуле 7

$$D := \frac{1}{3} \frac{I_1}{I_2} + \frac{1}{3} H_2 \frac{1}{(H_2)^2 + H_2 + 1} = 0.333$$

Безразмерный коэффициент μ по формуле 7:

$$\mu := \frac{1}{H_3} \frac{I_3}{(H_3 + 1)} = 0$$

Безразмерный коэффициент λ по формуле 7:

$$\lambda := \frac{1}{H_3} \frac{1}{(H_3)^2 + H_3 + 1} = 0$$

Безразмерный коэффициент  $\gamma$  по формуле 6:

$$\gamma := \frac{2}{H^3} \cdot \left[ H_1^3 \cdot (\Delta + \lambda) + H_2^3 \cdot \mu + 2 \cdot \frac{I_1}{I_3} \cdot H_1 \cdot H_2 \cdot H_3 \right]$$

Определения коэффициентов  $\beta_i$  по формуле 5:

$$\beta_1 := \frac{1}{2} \cdot \left[ 3 \cdot \left( \frac{x_1}{H} \right)^2 - \left( \frac{x_1}{H} \right)^3 \right] = 0.029$$

$$\beta_2 := \frac{1}{2} \cdot \left[ 3 \cdot \left( \frac{x_2}{H} \right)^2 - \left( \frac{x_2}{H} \right)^3 \right] = 0.236$$

$$\beta_3 := \frac{1}{2} \cdot \left[ 3 \cdot \left( \frac{x_3}{H} \right)^2 - \left( \frac{x_3}{H} \right)^3 \right] = 0.683$$

Коэффициент неравномерности сжатия грунта

$$C_F := 6 \cdot 10^7 \cdot \frac{H}{M^3}$$

$$I_F := I_3$$

Относительное перемещение центров тяжести участков,  $1/(H \cdot m)$  по формуле 4:

$$\alpha_1 := \gamma \cdot \frac{H}{2 \cdot E \cdot I_1} \cdot \beta_1 + \frac{x_1}{H \cdot C_F \cdot I_F} = 1.708 \times 10^{-7}$$

$$\alpha_2 := \gamma \cdot \frac{H}{2 \cdot E \cdot I_1} \cdot \beta_2 + \frac{x_2}{H \cdot C_F \cdot I_F} = 5.124 \times 10^{-7}$$

$$\alpha_3 := \gamma \cdot \frac{H}{2 \cdot E \cdot I_1} \cdot \beta_3 + \frac{x_3}{H \cdot C_F \cdot I_F} = 9.394 \times 10^{-7}$$

Для определения данных коэффициентов необходимо вычислить период собственных колебаний аппарата. Так как обычно не имеется данных о размерах фундамента для аппарата, то период собственных колебаний для аппарата переменного сечения, с можно подсчитать по формуле 3:

Вес каждого из участков принимаем равным

$$G_i := \frac{G_1}{3} = 2.506 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$G_\alpha := G_i \cdot (\alpha_1)^2 + G_i \cdot (\alpha_2)^2 + G_i \cdot (\alpha_3)^2 = 2.942 \times 10^{-8}$$

$$T := 2 \cdot \pi \cdot H \cdot \sqrt{\frac{G_\alpha}{g \cdot \left( \frac{H}{2 \cdot E \cdot I_1} \cdot \gamma + \frac{1}{C_F \cdot I_F} \right)}} = 4.404$$

#### 5.11.4 Определение расчетного изгибающего момента от ветровой нагрузки

Коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте аппарата по формуле 14

$$\Theta_1 := \left( \frac{x_1}{10} \right)^{0.31} = 0.607$$

$$\Theta_2 := \left( \frac{x_2}{10} \right)^{0.31} = 0.854$$

$$\Theta_3 := \left( \frac{x_3}{10} \right)^{0.31} = 1.03$$

Нормативное значение ветрового давления,  $\frac{H}{m^2}$  по таблице 1;

$$q_0 := 380$$

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки на середине i-го участка аппарата (на высоте X; над поверхностью земли),  $\frac{H}{m^2}$  определяют по формуле 13

$$q_{ist1} := q_0 \cdot \Theta_1 \cdot K = 161.511$$

$$q_{ist2} := q_0 \cdot \Theta_2 \cdot K = 227.043$$

$$q_{ist3} := q_0 \cdot \Theta_3 \cdot K = 273.977$$

Среднюю составляющую ветровой нагрузки на i-м участке, H определяют по формуле 11

$$P_{ist1} := q_{ist1} \cdot D \cdot h_1 = 1.357 \cdot 10^3$$

$$P_{ist2} := q_{ist2} \cdot D \cdot h_2 = 1.271 \cdot 10^3$$

$$P_{ist3} := q_{ist3} \cdot D \cdot h_3 = 1.534 \cdot 10^3$$



Коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра  $v$  определяют по формуле 19

$$v := 0.968 - 0.025 \sqrt{H} = 0.874$$

Ветровую нагрузку на  $i$ -м участке,  $H$  определяют по формуле 10

$$P_1 := P_{ist1} + P_{idyn1} = 1.778 \quad 10^3$$

$$P_2 := P_{ist2} + P_{idyn2} = 3.109 \quad 10^3$$

$$P_3 := P_{ist3} + P_{idyn3} = 4.903 \quad 10^3$$

Безразмерный коэффициент по формуле 22:

Изгибающий момент от действия ветровой нагрузки на обслуживающую  $j$ -ю площадку,  $H^*$ м следует определять по формуле 21

$$x_0 := x_1$$

Принимаем

$$A_j := 4.0 \quad m^2$$

$$M_{vj1} := K_{q0} \Theta_1 (x_{j1} - x_0) (1 + 0.75 \xi_{\chi_{j1}} m_{j1}) A_j = 4.112 \quad 10^3$$

$$M_{vj2} := K_{q0} \Theta_2 (x_{j2} - x_0) (1 + 0.75 \xi_{\chi_{j2}} m_{j2}) A_j = 2.413 \quad 10^3$$

$$M_{vj3} := K_{q0} \Theta_3 (x_{j3} - x_0) (1 + 0.75 \xi_{\chi_{j3}} m_{j3}) A_j = 2.912 \quad 10^3$$

Расчетный изгибающий момент в сечении на высоте  $x_0$ ,  $H^*$ м следует определять по формуле 9

$$P_{xx} := P_1 (x_1 - x_0) + P_2 (x_2 - x_0) + P_3 (x_3 - x_0)$$

$$M_{MM} := M_{vj1} + M_{vj2} + M_{vj3}$$

$$M_v := P_{xx} + M_{MM} = 6.599 \quad 10^4$$

## 5.12 Расчет аппарата на прочность

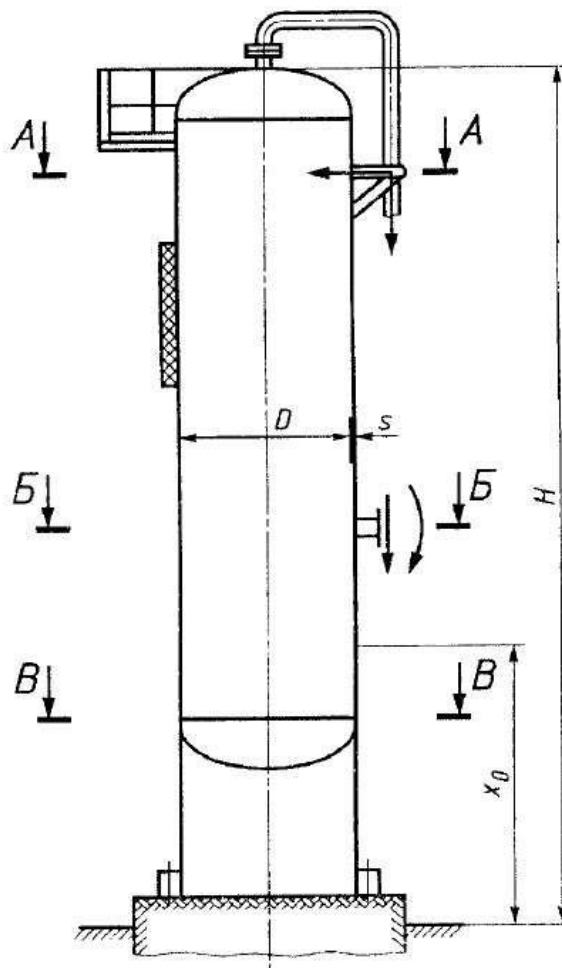


Рисунок 5.13 - расчетные сечения корпуса аппарата

Расчет ведем, согласно № [12]

## Используемые обозначения

$A_{\sigma}$  - площадь поперечного сечения анкерного болта по внутреннему диаметру резьбы, мм<sup>2</sup>

$a$  - катет сварного шва в месте приварки опорной обечайки, мм  $b_1$  - ширина нижнего опорного кольца, мм

$b_2$  - выступающая ширина нижнего опорного кольца, мм  $b_3$  - длина верхнего опорного элемента, мм

$b_4$  - ширина верхнего опорного элемента, мм

$b_5$  - минимальное расстояние между двумя смежными ребра, мм

$b_6$  - максимальное расстояние между двумя смежными ребрами, мм

$b_7$  - ширина усиливающей пластины, привариваемой к верхнему опорному кольцу, мм

$c$  - сумма всех прибавок к расчетной толщине, мм  $D$  - внутренний диаметр аппарата, мм

$D_0$  - внутренний диаметр цилиндрической опорной обечайки

$D_6$  - диаметр окружности анкерных болтов, мм

$d$  - диаметр окружности, вписанной в шестигранник гайки анкерного болта, мм  $d_6$  - внутренний диаметр резьбы анкерного болта, мм

$d_0$  - диаметр отверстия в опорной обечайке, мм  $e$  - расстояние от оси анкерного болта до опорной обечайки, мм

$E$  - Модуль упругости для материала опорной обечайки при расчетной температуре, МПа  $F$  - осевое сжимающее усилие, Н

$F_1$  - осевое сжимающее усилие в рабочих условиях, Н осевое сжимающее усилие в условиях испытания, Н осевое сжимающее усилие в условиях монтажа, Н

$F_d$  - допускаемое осевое растягивающее усилие, Н

вес аппарата (включая вес обслуживающих площадок, изоляции, внутренних устройств, рабочей среды) в рабочих условиях, Н

$G_2$  - вес аппарата (включая вес жидкости, заполняющей аппарат) в условиях испытания, Н

$G_3$  - максимальный вес аппарата в условиях монтажа, Н

$M_{дп}$  - допускаемый изгибающий момент из условия прочности, Н\*мм

$M_{де}$  - Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости,

Н\*мм

$M_d$  - Допускаемый изгибающий момент для условий испытания, Н\*мм

число анкерных болтов

$n_y$  - Коэффициент запаса устойчивости при условиях испытания и монтажа  $P_i$  - давление испытаний, МПа

$p$  - расчетное давление, МПа

$p_1$  - расчетное давление в рабочих условиях,

МПа  $p_2$  - пробное давление в условиях испытания, МПа

$R_e$  - минимальное значение предела текучести для материала рассматриваемого элемента при расчетной температуре, МПа

$R_m$  - минимальное значение временного сопротивления для материала рассматриваемого элемента при расчетной температуре, МПа

$s$  - исполнительная толщина стенки аппарата , мм

$s_0$ - исполнительная толщина стенки опорной обечайки  
, мм  $s_1$  - исполнительная толщина нижнего опорного  
кольца, мм  $s_2$  - исполнительная толщина верхнего  
опорного кольца , мм

$s_3$  - толщина усиливающей пластины, привариваемой к верхнему опорному  
кольцу, мм  $s_4$  - исполнительная толщина ребра, мм

$\varphi$  - Коэффициент прочности сварного  
шва  $\sigma_{x1}$ ,  $\sigma_{x2}$  - Продольные напряжения

$\sigma_y$  - Кольцевые напряжения

$\sigma_{E1}$ ,  $\sigma_{E2}$  -Эквивалентные напряжения

$\sigma_t$  - размах приведенных напряжений в рассматриваемом элементе аппарата, МПа

$\sigma_{да}$  -допускаемое напряжение для материала опорного узла при расчетной температуре,  
МПа

$\sigma_{дв}^{\sigma_{дв}}$  - напряжение для анкерных болтов, МПа

$\sigma_{дк}$  - допускаемое напряжение для материала корпуса аппарата при расчетной  
температуре, МПа

$\sigma_{до}$  - допускаемое напряжение для материала опорной обечайки при расчетной  
температуре,  
МПа

$\sigma_{дб}$  - допускаемое напряжение бетона на сжатие, МПа

### 5.12.1 Расчет нагрузок

По условию изгибающий момент равен:

$$M_{исх} := 2.2 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad \sigma_{дк} := 196 \quad \text{МПа} \quad \varphi := 1$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие по формуле 13 [7]  $s := 14 \text{ мм}$   $D := 1400 \text{ мм}$   $n_y := 1.8$

мм

мм

$$F_d := \pi (D + s - c) (s - c) \varphi \sigma_{дк} = 1.218 \cdot 10^7 \quad \text{Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности по формуле 29 [7]  $M_{дп} := \pi_4 D (D + s - c) (s - c) \sigma_{дк} = 4.264 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{мм}$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости по формуле 30 [2]

$$M_{де} := \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot D^3 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 2.621 \times 10^{10} \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Допускаемый изгибающий момент для условий испытания по формуле 28 [7]

$$M_d := \frac{M_{дп}}{\sqrt{1 + \left( \frac{M_{дп}}{M_{де}} \right)^2}} = 4.208 \times 10^9 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

### 5.12.2 Проверка прочности

при рабочих условиях

По табл. 1 [12]

$$F_1 := G_1$$

$$F := F_1$$

$$M := M_{исх} + M_v = 6.6 \quad 10^4$$

Продольные напряжения следует рассчитывать:

-на наветренной стороне по формуле 2 [12]

$$\sigma_{x1} := \frac{p (D + s)}{4 (s - c)} - \frac{F}{\pi D (s - c)} + \frac{4 M}{\pi D (s - c)^2} = 1.307$$

-на подветренной стороне по формуле 3 [12]

$$\sigma_{x2} := \frac{p (D + s)}{4 (s - c)} - \frac{F}{\pi D (s - c)} - \frac{4 M}{\pi D (s - c)^2} = 1.301$$

Кольцевые напряжения следует рассчитывать по формуле 4 [12]

$$\sigma_y := \frac{p (D + s)}{4 (s - c)} = 2.525$$

Эквивалентные напряжения следует рассчитывать

-на наветренной стороне по формуле 5 [12]

$$\sigma_{E1} := \sqrt{\sigma_{x1}^2 - \sigma_{x1} \sigma_y + \sigma_y^2} = 2.187$$

-на подветренной стороне по формуле 6 [12]

$$\sigma_{E2} := \sqrt{\sigma_{x2}^2 - \sigma_{x2} \sigma_y + \sigma_y^2} = 2.187$$

Условия прочности следует проверять:

- на наветренной стороне по формуле 7 [12]

$$\max(\sigma_{x1}, \sigma_{E1}) < \sigma_{\text{дк}} \varphi$$

$$2.187 < 196 \quad \text{МПа}$$

условие прочности выполняется

-на подветренной стороне по формуле 8 [12]

$$\max(\sigma_{x2}, \sigma_{E2}) < \sigma_{\text{дк}} \varphi$$

$$2.187 < 196 \quad \text{МПа}$$

условие прочности выполняется

при условиях монтажа

По табл. 1 [12]

$$F_3 := G_3$$



$$F := F_3$$

$$p := 0$$

Продольные напряжения следует рассчитывать:

-на наветренной стороне по формуле 2 [12]

$$\sigma_{x1} := \frac{p (D + s)}{4 (s - c)} - \frac{F}{\pi D (s - c)} + \frac{4 M}{\pi D (s - c)^2} = -0.964$$

-на подветренной стороне по формуле 3 [12]

$$\sigma_{x2} := \frac{p (D + s)}{4 (s - c)} - \frac{F}{\pi D (s - c)} - \frac{4 M}{\pi D (s - c)^2} = -0.97$$

Эквивалентные напряжения следует

рассчитывать -на наветренной стороне по

формуле 5 [12]

$$\sigma_{E1} := \sqrt{\sigma_{x1}^2 - \sigma_{x1} \sigma_y + \sigma_y^2} = 0.964$$

-на подветренной стороне по формуле 6 [12]

$$\sigma_{E2} := \sqrt{\sigma_{x2}^2 - \sigma_{x2} \sigma_y + \sigma_y^2} = 0.97$$

Условия прочности следует проверять:

- на наветренной стороне по формуле 7 [12]

$$\max(|\sigma_{x1}|, \sigma_{E1}) < \sigma_{dk} \varphi$$

$$0.963 < 196 \text{ МПа}$$

условие прочности выполняется

на подветренной стороне по формуле 8 [12]

$$\max(|\sigma_{x2}|, \sigma_{E2}) < \sigma_{dk} \varphi$$

$$0.969 < 196 \text{ МПа}$$

условие прочности выполняется

### 5.12.3 Проверка устойчивости

Проверку устойчивости для рабочих условий и условий испытания для аппаратов под внутренним избыточным давлением следует проводить по формуле 9 [12]

при рабочих условиях

---

По таблице 1

[12]

$F := F_1$

www

$$\frac{F + M}{F_d + M_d} < 1$$

$F_d + M_d$

$$0.006 < 1$$

условие устойчивости выполняется

при условиях испытания

---

$F := G_2$

www

$M := M_{исх} + 0.6 M_v$

www

По таблице 1 [12]

$$\frac{F + M}{F_d + M_d} < 1$$

$F_d + M_d$

$$0.019 < 1$$

условие устойчивости выполняется

#### 5.12.4 Опорная обечайка

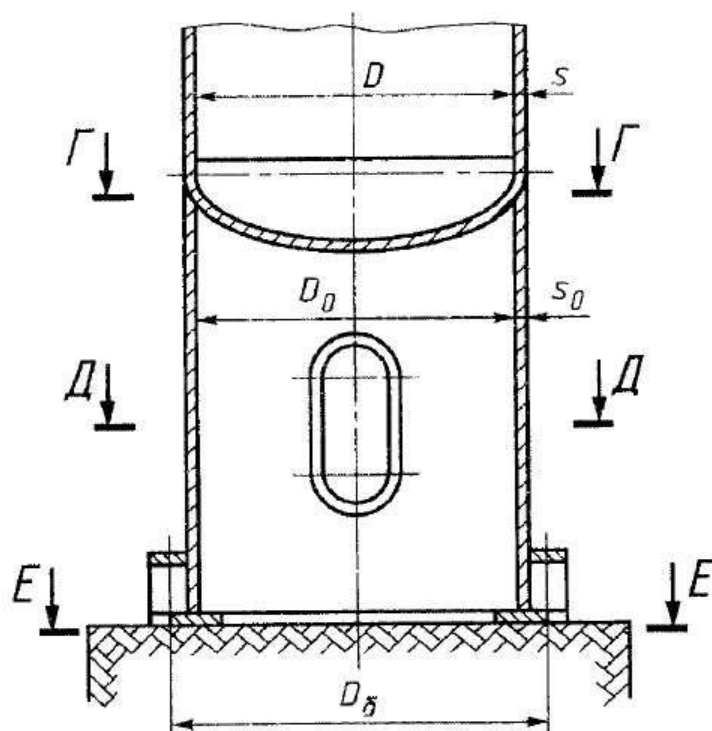


Рисунок 5.14 - расчетные сечения цилиндрической опорной обечайки

Проверку прочности сварного шва, соединяющего корпус аппарата с опорной обечайкой следует проводить по формуле 11 [12]

$$D_0 := D \quad s_0 := s$$

Принимаем  $a := 5$  мм

$$\frac{1}{\pi \cdot D_0 \cdot a} \cdot \left( \frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) \leq 0.8 \cdot \min(\sigma_{д0}, \sigma_{дж})$$

$$10.225 \leq 156.8$$

условие прочности сварного шва выполняется

Принимаем диаметр отверстия в сечении Д-Д равным

$$d_0 := 50 \quad \text{мм}$$

Т.к диаметр отверстия в сечении Д-Д удовлетворяет условию:

$$d_0 < 0.04 D_0$$

$$50 < 56 \quad \text{мм}$$

### 5.12.5 Элементы опорного узла

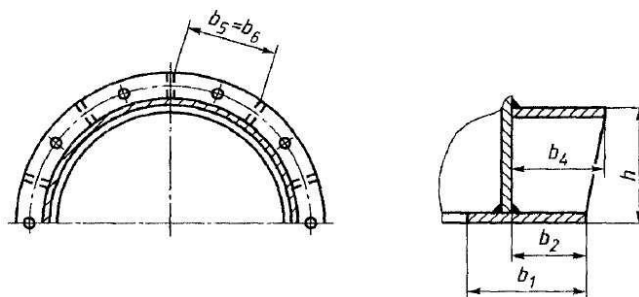


Рисунок 5.15 - опорный узел

В качестве материала для опорного узла принимаем сталь 09Г2с

По рисунку 3 [12] и по [13]

принимаем:

Для опорного узла выбираем исполнение 2

Число болтов  $n := 24$

✓✓

Диаметр болтов 24 мм

Принимаем диаметр болтовой окружности равным

$D_6 := 3820 \quad \text{мм}$

✓✓✓

Принимаем диаметр окружности, вписанной в шестигранник анкерного болта

$d := 47.5 \quad \text{мм}$

Согласно [4]

$$b_1 := 280 \quad \text{мм}$$

$$b_2 := 120 \quad \text{мм}$$

$$b_4 := 70 \quad \text{мм}$$

$$b_5 := \frac{D_6}{2 \pi \sqrt{2}} = 749.675 \quad \text{мм}$$

$$b_6 := b_5$$

$$b_7 := 0$$

Допускаемое напряжение для материала опорного кольца при расчетной температуре

по [2]

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 177 \\ 171 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{да}} := \text{linterp}(t, \sigma, 110.6)$$

$$\sigma_{\text{да}} = 175.728 \text{ МПа}$$

Принимаем марку бетона М100. Тогда напряжение бетона на сжатие:

$$\sigma_{\text{дб}} := 9.63 \quad \text{МПа}$$

Принимаем в качестве материала анкерных болтов сталь 09Г2С. По прил. Б [1]

$$\sigma_{\text{дв}} := 170 \text{ МПа}$$

Коэффициент  $\chi_1$  по формуле 15 [12]

$$\chi_1 := \left[ \frac{1 + 1.81 \cdot \left( \frac{b_2}{b_6} \right)^3}{1 + 2.97 \cdot \left( \frac{b_2}{b_6} \right)^3} \right]^2 = 0.991$$

Ширину нижнего опорного кольца опоры аппарата, устанавливаемого на бетонном фундаменте, определяют по формуле 16 [12]

$$b_1 \geq \frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 \cdot \sigma_{дб}}$$

$$\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 \cdot \sigma_{дб}} = 1.953$$

Принимаем

$$b_1 := 10$$

mm

Толщину нижнего опорного кольца  $s_1$  следует определять по формуле 14 [12]

$$s_1 \geq \max \left( \chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot \sigma_{да}}} + c, 1.5 \cdot s_0 \right)$$

$$\max \left( \chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot \sigma_{да}}} + c, 1.5 \cdot s_0 \right) = 21.792$$

Принимаем

$$s_1 := 35$$

www

Коэффициент  $\chi_2$  по формуле 18 [12]

$$\chi_2 := \frac{3 \cdot \frac{b_4}{b_5}}{\sqrt{1 + \frac{\left(\frac{b_4}{b_5}\right)^2}{1 - \frac{d}{b_5}}}} = 0.527$$

По табл.А1 [5] площадь поперечного сечения анкерного болта диаметром 24 мм равна:

$$A_\sigma := 352 \quad \text{мм}^2$$

Толщину верхнего опорного кольца  $s_2$  следует определять по формуле 17 [12]

$$s_2 \geq \max \left( \chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_\sigma \cdot \sigma_{\text{ДВ}}}{\sigma_{\text{да}}}} + c, 1.5 \cdot s_0 \right)$$

$$\max \left( \chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_\sigma \cdot \sigma_{\text{ДВ}}}{\sigma_{\text{да}}}} + c, 1.5 \cdot s_0 \right) = 21$$

Принимаем

$$s_2 := 27$$

$$s_3 := s_2$$

Коэффициент  $\chi_3$  по формуле 20 [12]

$$\chi_3 := \frac{b_7}{b_4} \cdot \left( \frac{s_3}{s_2} \right)^2 = 0$$

— При наличии усиливающей пластины толщиной  $s_3$ , приваренной к верхнему опорному кольцу, расчет следует проводить по формуле 19 [12]

$$s_2 + s_3 \geq \chi_2 \cdot \chi_3 \cdot \sqrt{\frac{A_\sigma \cdot \sigma_{дв}}{\sigma_{да}}} + c$$

$$54 \geq 1.2 \times 10^{-3}$$

Толщину ребра  $s_4$  определяют по формуле 21 [12]

Принимаем  $\chi_4 := 1$

$$s_4 \geq \max \left( \frac{A_\sigma \cdot \sigma_{дв}}{b_2 \cdot \chi_4 \cdot \sigma_{да}} + c, 0.4 \cdot s_1 \right)$$

$$\max \left( \frac{A_\sigma \cdot \sigma_{дв}}{b_2 \cdot \chi_4 \cdot \sigma_{да}} + c, 0.4 \cdot s_1 \right) = 14$$

Принимаем

$$s_4 := 20$$

$$b_3 := b_4$$

Проверку прочности опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца следует проводить по формуле 22 [12]

$$e := 110 \quad h := 65000$$

мм

мм



$$\frac{6 \cdot \chi_5 \cdot A_\sigma \cdot \sigma_{дв} \cdot e}{(s_0 - c)^2 \cdot h} \leq 1.5 \cdot \sigma_{д0}$$

$$1.659 < 294$$

условие прочности опорной обечайки выполняется

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 97   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

| Группа | ФИО                              |
|--------|----------------------------------|
| 4K51   | Мусханову Дмитрию Александровичу |

| Школа               | ИШНПТ    | НОЦ Н.М. Кижнера | НОЦ Н.М. Кижнера                                                                                   |
|---------------------|----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уровень образования | бакалавр | Направление      | 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии |

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

|                                                                                                                                      |                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | Анализ расходов действующего предприятия.                                |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов                                                                                           | Работа с информацией, представленной в аналитических материалах.         |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования                                  | Работа с информацией, представленной в нормативно – правовых документах. |

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

|                                                                                                                                    |                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | Анализ конкурентных технических решений рынка.<br>Выявление потенциальных потребителей и результатов исследования.<br>Выполнение SWOT-анализа проекта. |
| 2. Планирование и формирование бюджета научных исследований                                                                        | Определение структуры работ. Определение трудоемкости выполнения работ. Разработка графика проведения научных исследований.                            |
| 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования        | Расчет интегрального показателя эффективности научного исследования.                                                                                   |

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО             | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Криницына З. В. | к.т.н., доцент         |         |      |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО           | Подпись | Дата |
|--------|---------------|---------|------|
| 4K51   | Мусханов Д.А. |         |      |

## 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 98   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |

В дипломном проекте представлен расчет тарельчатой ректификационной колонны непрерывного действия для разделения бинарной смеси бензол-толуол.

## 6.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Продуктом данной бакалаврской работы является тарельчатая ректификационная колонна. Тарельчатые ректификационные колонны являются одними из самых распространенных в России, так как, согласно [СЕМАКИНА МАХП, с. 58] около 40% аппаратов, изготавливаемых для адсорбции и ректификации, представляют тарельчатые ректификационные колонны.

Целевым рынком являются: АО «СДС Азот», ПАО «Нижнекамскнефтехим», ООО «Самараоргсинтез», ПАО «Куйбышевазот», ПАО «Омский каучук», ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» ООО «ПНХЗ»

Областью применения аппаратов данного типа является нефтегазовая, химическая, пищевая промышленности и т.д.

## 6.2 SWOT–анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT–анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT – анализ состоит из трех этапов. В первом этапе мы анализируем сильные и слабые стороны исследовательской работы (внутренняя среда), а также возможности и угрозы (внешняя среда). Описание выполняется с помощью факторов, не имеющих количественной оценки (таблица 10 ).

Таблица 10 – Матрица – SWOT

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b><br>С1. Наличие квалифицированного персонала, имеющего опыт работы в данной области<br>С2. Актуальность проекта<br>С3. Использование новых автоматизированных технологий<br>С4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии<br>С5. Высокое качество продукции, соответствующее мировым стандартам | <b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b><br>Сл1. Невозможность провести испытания<br>Сл2. Большое количество материала для изготовления аппарата<br>Сл3. Уменьшение размеров аппарата при неизменной производительности |
| <b>Возможности:</b><br>В1. Постоянное повышение квалификации персонала<br>В2. Дополнительный спрос на результаты расчетов.<br>В3. Выход на всероссийский и международный рынок                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Угрозы:</b><br>У1. Появление новых конкурентов<br>У2. Риск невозможности импорта товаров из-за введения секторальных санкций<br>У3. Модификация уже существующих технологий<br>У4. Необходимость развития широкой логистической сети по транспортировке аппарата, по подаче сырья и отправлении продукта |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                        |

Таблица 10.1 - Интерактивная матрица проекта

| Сильные стороны проекта |    |     |    |     |     |    |
|-------------------------|----|-----|----|-----|-----|----|
| Возможности<br>проекта  |    | C1  | C2 | C3  | C4  | C5 |
|                         | B1 | +   | -  | +   | +   | +  |
|                         | B2 | +   | +  | +   | +   | -  |
|                         | B3 | +   | -  | -   | +   | +  |
| Сильные стороны проекта |    |     |    |     |     |    |
| Угрозы проекта          |    | C1  | C2 | C3  | C4  | C5 |
|                         | У1 | -   | -  | +   | +   | -  |
|                         | У2 | -   | -  | -   | -   | -  |
|                         | У3 | +   | -  | 0   | -   | 0  |
|                         | У4 | -   | +  | 0   | -   | -  |
| Слабые стороны проекта  |    |     |    |     |     |    |
| Возможности<br>проекта  |    | Сл1 |    | Сл2 | Сл3 |    |
|                         | B1 | -   |    | 0   | -   |    |
|                         | B2 | -   |    | +   | -   |    |
|                         | B3 | -   |    | +   | -   |    |
| Слабые стороны проекта  |    |     |    |     |     |    |
| Угрозы проекта          |    | Сл1 |    | Сл2 | Сл3 |    |
|                         | У1 | -   |    | +   | -   |    |
|                         | У2 | -   |    | 0   | -   |    |
|                         | У3 | -   |    | +   | +   |    |
|                         | У4 | -   |    | +   | -   |    |

Таблица 10.2 - Итоговый SWOT-анализ

|                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                   | <p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>С1. Наличие квалифицированного персонала, имеющего опыт работы в данной области</p> <p>С2. Актуальность проекта</p> <p>С3. Использование новых автоматизированных технологий</p> <p>С4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии</p> <p>С5. Высокое качество продукции, соответствующее мировым стандартам</p> | <p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>Сл1. Невозможность провести испытания</p> <p>Сл2. Большое количество материала для изготовления аппарата</p> <p>Сл3. Уменьшение размеров аппарата при неизменной производительности</p>                                           |
| <p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Постоянное повышение квалификации персонала</p> <p>В2. Дополнительный спрос на результаты расчетов.</p> <p>В3. Выход на всероссийский и международный рынок</p> | <p>Постоянное повышение квалификации персонала положительно скажется на эксплуатации аппарата персоналом, внедрении возможных модификаций в конструкцию, получение продукта высокого качества, привлечение более экономичных и энергоэффективных решений</p>                                                                                                                                       | <p>Выход на всероссийский и международный рынок повлечет за собой необходимость развития широкой логистической сети по подаче сырья и транспортировке продукта, так же, в результате выхода на мировую арену вырастет спрос на результаты расчетов</p>                                              |
| <p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Появление новых конкурентов</p> <p>У2. Риск невозможности импорта товаров из-за введения секторальных санкций</p> <p>У3. Модификация уже существующих технологий</p> | <p>Появление новых конкурентов и риск невозможности импорта товаров из-за введения секторальных санкций может негативно сказаться на желании квалифицированного специалиста работать на предприятии, а так же модификация уже существующих технологий может подорвать компетентность некоторых специалистов.</p>                                                                                   | <p>Риск невозможности импорта товаров из-за введения секторальных санкций может отбросить необходимость развития широкой логистической сети по подаче сырья и транспортировки продукта, а также поставить под угрозу поставки материалов, которые по свойствам могут превосходить отечественные</p> |

SWOT-анализ показывает, что для увеличения конкурентоспособности продукта, необходимо осуществить переход на отечественное оборудование, поддерживать технологии, соответствующие современным запросам.

## 6.3 Планирование научно-исследовательских работ

### 6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работы в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований;

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входят: инженер, научный руководитель, консультант по части социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ представлен в таблице 11.

Таблица 11- Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы                                           | № раб | Содержание работ                                                | Должность исполнителя         |
|----------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Разработка технического задания                          | 1     | Составление и утверждение технического задания                  | Научный руководитель          |
| Выбор направления исследований                           | 2     | Подбор и изучение материалов по теме                            | Инженер                       |
|                                                          | 3     | Проведение патентных исследований                               | Инженер                       |
|                                                          | 4     | Выбор направления исследований                                  | Научный руководитель, инженер |
|                                                          | 5     | Календарное планирование работ                                  | Инженер                       |
| Теоретические и экспериментальные исследования           | 6     | Проведение теоретических расчетов и обоснований                 | Инженер                       |
|                                                          | 7     | Утверждение лучшего результата                                  | Научный руководитель          |
| Обобщение и оценка результатов                           | 8     | Оценка эффективности полученных результатов                     | Научный руководитель, инженер |
|                                                          | 9     | Определение целесообразности проведения ВКР                     | Инженер                       |
| Проведение ВКР                                           |       |                                                                 |                               |
| Разработка технической документации и проектирование     | 10    | Разработка чертежа аппарата в среде КОМПАС 3D                   | Инженер                       |
|                                                          | 11    | Проверка чертежей                                               | Научный руководитель          |
| Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ВКР) | 12    | Составление пояснительной записки, оформление чертежей аппарата | Инженер                       |

### 6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ож_i}$  используется следующая формула:

$$t_{ож_i} = \frac{3t_{min_i} + 2t_{max_i}}{5},$$

Где  $t_{ож_i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения i-ой работы чел.-дн.;

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 104  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |



$t_{\min_i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max_i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

На выполнение данного проекта выделено 4 месяца (февраль-май), что в календарных днях по шестидневной рабочей неделе с учетом всех праздников составляет 96 дней. Кратчайший срок выполнения проекта – 62 дня.

Таблица 12 - Минимальная и максимальная трудоемкости выполнения работы

|            |   |   |   |   |   |    |   |   |   |    |   |    |
|------------|---|---|---|---|---|----|---|---|---|----|---|----|
| $t_{\min}$ | 1 | 4 | 4 | 1 | 4 | 12 | 1 | 1 | 4 | 13 | 1 | 16 |
| $t_{\max}$ | 1 | 9 | 7 | 1 | 7 | 23 | 1 | 1 | 7 | 18 | 1 | 20 |

Определим ожидаемую трудоемкость для запланированных работ с округлением до целого числа.

Таблица 13 - Ожидаемая трудоемкость

|          |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |    |
|----------|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|----|
| $t_{ож}$ | 1 | 6 | 5 | 1 | 5 | 16 | 1 | 1 | 5 | 9 | 1 | 18 |
|----------|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|----|

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_p = \frac{t_{ож_i}}{Ч_i},$$

где  $T_p$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ож_i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел. – дн;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Таблица 14 - Продолжительность каждой работы

|       |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |    |
|-------|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|----|
| $T_p$ | 1 | 6 | 5 | 1 | 5 | 16 | 1 | 1 | 5 | 9 | 1 | 18 |
|-------|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|----|

### 6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем, поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками,

характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. 44  
Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней  
следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{k_i} = T_{p_i} * k_{\text{кал}},$$

где  $T_{k_i}$  - продолжительность выполнения  $i$  – й работы в календарных днях;

$T_{p_i}$  - продолжительность выполнения  $i$  – й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ , – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где  $T_{\text{кал}}$  - количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  - количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  - количество праздничных дней в году.

Следовательно:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 92 - 26} = 1,49$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{k_i}$  необходимо  
округлить до целого числа. Все рассчитанные значения сводим в таблицу 15.

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 106  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |

Таблица 15 -Временные показатели проведения работы

| Номер работы | Трудоемкость работ  |                     |                      | Исполнители     | Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$ | Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$ |
|--------------|---------------------|---------------------|----------------------|-----------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|
|              | $t_{min}$ , чел-дни | $t_{max}$ , чел-дни | $t_{ож_i}$ , чел-дни |                 |                                            |                                                |
| 1            | 1                   | 1                   | 1                    | Рук-ль          | 1                                          | 1                                              |
| 2            | 4                   | 9                   | 6                    | Инженер         | 6                                          | 8                                              |
| 3            | 4                   | 8                   | 6                    | Инженер         | 6                                          | 8                                              |
| 4            | 1                   | 1                   | 1                    | Рук-ль, Инженер | 1                                          | 1                                              |
| 5            | 4                   | 8                   | 6                    | Инженер         | 6                                          | 8                                              |
| 6            | 12                  | 21                  | 16                   | Инженер         | 16                                         | 23                                             |
| 7            | 1                   | 1                   | 1                    | Рук-ль          | 1                                          | 1                                              |
| 8            | 1                   | 1                   | 1                    | Рук-ль, Инженер | 1                                          | 1                                              |
| 9            | 4                   | 7                   | 5                    | Инженер         | 5                                          | 7                                              |
| 10           | 13                  | 18                  | 9                    | Инженер         | 9                                          | 13                                             |
| 11           | 1                   | 1                   | 1                    | Рук-ль          | 1                                          | 1                                              |
| 12           | 16                  | 20                  | 18                   | Инженер         | 18                                         | 26                                             |
| Итого        | 62                  | 96                  | 71                   |                 | 71                                         | 98                                             |

Следующим шагом построим календарный план-график, на котором будет показана продолжительность работы исполнителей.

План-график проведения работы по теме «Разработка ректификационной колонны для разделения бинарной смеси бензол-толуол»

| №<br>работы | Вид работы                                 | Испол-<br>нители   | $T_{ki}$ ,<br>кал.<br>дн. | Продолжительность проведения работ                          |                    |   |      |   |   |        |   |   |     |     |      |
|-------------|--------------------------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|-----|------|
|             |                                            |                    |                           | фев-<br>раль                                                |                    |   | март |   |   | апрель |   |   | май |     |      |
|             |                                            |                    |                           | 1                                                           | 2                  | 3 | 1    | 2 | 3 | 1      | 2 | 3 | 1   | 2   | 3    |
| 1           | Составление<br>технического<br>задания     | Рук-ль             | 1                         |                                                             |                    |   |      |   |   |        |   |   |     |     |      |
| 2           | Изучение<br>материалов                     | Инженер            | 8                         |                                                             |                    |   |      |   |   |        |   |   |     |     |      |
| 3           | Проведение<br>патентных<br>исследований    | Инженер            | 8                         |                                                             |                    |   |      |   |   |        |   |   |     |     |      |
| 4           | Выбор<br>направления<br>исследований       | Рук-ль,<br>Инженер | 1                         |                                                             |                    |   |      |   |   |        |   |   |     |     |      |
| 5           | Планирование<br>работ                      | Инженер            | 8                         |                                                             |                    |   |      |   |   |        |   |   |     |     |      |
| 6           | Проведение<br>расчётов                     | Инженер            | 23                        |                                                             |                    |   |      |   |   |        |   |   |     |     |      |
| 7           | Утверждение<br>результатов                 | Рук-ль             | 1                         |                                                             |                    |   |      |   |   |        |   |   |     |     |      |
| 8           | Оценка<br>полученных<br>результатов        | Рук-ль,<br>Инженер | 1                         |                                                             |                    |   |      |   |   |        |   |   |     |     |      |
| 9           | Целесообразность<br>ВКР                    | Инженер            | 7                         |                                                             |                    |   |      |   |   |        |   |   |     |     |      |
| 10          | Разработка<br>чертежей                     | Инженер            | 13                        |                                                             |                    |   |      |   |   |        |   |   |     |     |      |
| 11          | Проверка чертежей                          | Рук-ль             | 1                         |                                                             |                    |   |      |   |   |        |   |   |     |     |      |
| 12          | Составление ПЗ и<br>оформление<br>чертежей | Инженер            | 26                        |                                                             |                    |   |      |   |   |        |   |   |     |     |      |
|             |                                            |                    |                           | <div> <div></div> – руководитель <div></div> инженер </div> |                    |   |      |   |   |        |   |   |     |     |      |
| Изм.        | Лист                                       | № докум.           | Подпись                   | Дата                                                        | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ |   |      |   |   |        |   |   |     |     | Лист |
|             |                                            |                    |                           |                                                             |                    |   |      |   |   |        |   |   |     | 108 |      |

## 6.4 Расчет затрат

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

### 6.4.1 Материальные затраты

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}_i},$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}_i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$\Pi_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 16 – затраты на производство

| Наименование                       | Единица измерения | Количество | Цена за ед., руб. | Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб. |
|------------------------------------|-------------------|------------|-------------------|-----------------------------------------------|
| Фракция бензол-толуольная (бентол) | т                 | 1          | 39000             | 48750                                         |
| Материал                           | т                 | 7          | 33                | 288750                                        |
| Датчики                            | шт                | 15         | 6000              | 112500                                        |
| пар                                | гКал              | 0,03       | 8,396             | 14240,3                                       |
| Итого, руб.                        | 464242            |            |                   |                                               |

#### 6.4.2 Расчет амортизационных отчислений

Для расчета суммы амортизационных отчислений необходимо учесть время, которое используется оборудование его полную стоимость и норму амортизационных отчислений.

$$A_0 = \frac{C_{\Pi} \cdot H_0}{100 \cdot T_{\text{раб, дн. год}}} \cdot T_{\text{раб}},$$

где  $A_0$  – амортизационные отчисления, руб;

$C_{\Pi}$  – стоимость оборудования, руб;

$H_0$  – норма амортизационных отчислений, для каждого оборудования, %

$T_{\text{раб, дн. год}}$  – рабочие дни в 2019 году, 247 дней;

$T_{\text{раб}}$  – дни эксплуатации в проекте;

Норму амортизационных отчислений вычисляем по формуле:

$$H_0 = \frac{1}{n} \cdot 100,$$

где  $n$  – срок эксплуатации оборудования на производстве, лет.

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 110  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |

Дни в эксплуатации будут приняты в количестве 5 дней в соответствии с экспериментальными данными. Все результаты расчетов представлены в таблице расходов на оборудование.

Таблица 17 – Расходы на оборудование

| Наименование основных средств | Количество основных средств, шт. | Срок эксплуатации n, лет | Норма амортизации, % | С <sub>п</sub> , тыс. руб | А <sub>0</sub> , руб. |
|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------|
| Колонна                       | 1                                | 15                       | 6,67                 | 15000                     | 24900                 |
| Конденсатор                   | 1                                | 15                       | 6,67                 | 8000                      | 10800                 |
| Подогреватель                 | 1                                | 15                       | 6,67                 | 8000                      | 10800                 |
| Емкость                       | 4                                | 20                       | 5                    | 4660                      | 18870                 |
| Кипятильник                   | 1                                | 15                       | 6,67                 | 8120                      | 10960                 |
| Теплообменник                 | 2                                | 15                       | 6,67                 | 8000                      | 21590                 |
| Итого                         |                                  |                          |                      |                           | 97920                 |

#### 6.4.3 Затраты на электроэнергию, потребляемую насосами

Затраты на электроэнергию рассчитывают по формуле:

$$З_э = Т_э \cdot М \cdot Т_{\text{раб}},$$

где  $З_э$  – затраты на электроэнергию, руб;

$Т_э$  – тариф электроэнергии 1кВт/ч, руб/(кВт/ч);

$М$  – мощность, потребляемая двигателями насосов, кВт;

$Т_{\text{раб}}$  – число рабочих часов оборудования для исследования, ч

Отсюда следует:

$$З_э = 9,8 \cdot 176 \cdot 5 \cdot 24 = 206976 \text{ руб.}$$

#### 6.4.4 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 111  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |

Основная заработная плата инженера и руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 18 – Показатели рабочего времени

| Показатели рабочего времени          | Руководитель | Инженер |
|--------------------------------------|--------------|---------|
| календарное количество дней          | 365          | 365     |
| Количество не рабочих дней:          |              |         |
| - выходные дни                       | 44           | 48      |
| - праздничные дни                    | 14           | 14      |
| Издержки рабочего времени:           |              |         |
| - отпуск                             | 56           | 28      |
| - невыходы по болезни                | 2            | 2       |
| Действительный фонд рабочего времени | 249          | 273     |

Месячный должностной оклад исполняющего работу:

$$Z_m = Z_{\text{ок}} \cdot k_p,$$

где  $Z_{\text{ок}}$  – оклад, руб.;

$k_p$  – районный коэффициент города Томска, равный 1,3.

Оклад руководителя (преподавателя ТПУ) с учетом должности доцента и степени кандидата технических наук составляет 33664 руб., а инженера в роли студента 26300 руб.

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 112  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |



Таблица 19 - Расчет основной заработной платы

| Исполнители  | З <sub>ок</sub> , руб. | k <sub>р</sub> | З <sub>м</sub> , руб. | З <sub>дн</sub> , руб | Т <sub>р</sub> , раб.<br>дн. | З <sub>осн</sub> , руб. |
|--------------|------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|
| Руководитель | 33664                  | 1,3            | 43763,2               | 1827,9                | 5                            | 9139,5                  |
| Инженер      | 26300                  |                | 34190                 | 1402,6                | 65                           | 91173,3                 |
| Итого        |                        |                |                       |                       |                              | 100312,8                |

Основная заработная плата рабочих:

- при 5 рабочих днях руководителя: 9139,5 руб.;
- при 65 рабочих днях инженера: 91173,3 руб.

#### 6.4.5 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Дополнительная заработная плата для руководителя составляет 1188,1 руб., а для инженера 11852,5 руб.

Итоговая заработная плата:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}$$

Для руководителя 10327,6 руб., а для инженера 103025,8 руб.

#### 6.4.6 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 113  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

$k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 20 - Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице.

| Исполнитель                                     | Основная заработная плата,<br>руб.     | Дополнительная заработная<br>плата, руб. |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
| Руководитель                                    | 9139,5                                 | 1188,1                                   |
| Инженер                                         | 91173,3                                | 11852,5                                  |
| Коэффициент отчислений во<br>внебюджетные фонды | 27,1 %                                 |                                          |
| Итого, руб.                                     | Руководитель: 2798,8<br>Инженер: 27920 |                                          |
| Суммарно                                        | 30718,8 руб.                           |                                          |

#### 6.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 21 - Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект

| Наименование статьи                           | Сумма, руб. |
|-----------------------------------------------|-------------|
| 1. Материальные затраты                       | 464242      |
| 2. Амортизация оборудования                   | 97920       |
| 3. Затраты на электроэнергию                  | 206976      |
| 4. Затраты по основной заработной плате       | 100312,8    |
| 5. Затраты по дополнительной заработной плате | 13040,6     |
| 6. Отчисления во внебюджетные фонды           | 30718,8     |
| 7. Бюджет затрат НТИ                          | 913210,2    |

## 6.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость каждого варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{P}} = \frac{913210,2}{913210,2} = 1,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{A1}} = \frac{913210,2}{943210,2} = 0,97,$$

Все результаты расчетов сводим в таблицу 22.

Таблица 22 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Объект исследования<br>Критерии | Весовой коэффициент<br>параметра | P | A.1 |
|---------------------------------|----------------------------------|---|-----|
| 1. Производительность           | 0,2                              | 4 | 5   |
| 2. Доступность запчастей        | 0,1                              | 5 | 3   |
| 3. Помехоустойчивость           | 0,2                              | 5 | 4   |
| 4. Конкурентоспособность        | 0,15                             | 4 | 5   |
| 5. Надежность                   | 0,25                             | 4 | 4   |
| 6. Цена                         | 0,1                              | 5 | 3   |
| Итого                           | 1                                |   |     |

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{\text{р.исп.1.}} = \sum a_i \cdot b_i,$$

Соответственно:

$$I_{\text{р.Р}} = 0,2 * 4 + 0,1 * 5 + 0,2 * 5 + 0,15 * 4 + 0,25 * 4 + 0,1 * 5 = 4,4$$

$$I_{\text{р.А1}} = 0,2 * 5 + 0,1 * 3 + 0,2 * 4 + 0,15 * 5 + 0,25 * 4 + 0,1 * 3 = 4,15$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{Р}} = \frac{I_{\text{р.Р}}}{I_{\text{финр}}^{\text{Р}}} = \frac{4,4}{1} = 4,4$$

$$I_{\text{А1}} = \frac{I_{\text{р.А1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{А1}}} = \frac{4,15}{0,97} = 4,28,$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{Р}}}{I_{\text{А1}}}$$

Все результаты внесены в таблицу.

Таблица 23 - Сравнительная эффективность разработки

| №<br>п/п | Показатели                                            | Р   | А1   |
|----------|-------------------------------------------------------|-----|------|
| 1        | Интегральный финансовый показатель разработки         | 1   | 1    |
| 2        | Интегральный показатель ресурсоэффективности          | 4,4 | 4,15 |
| 3        | Интегральный показатель эффективности                 | 4,4 | 4,12 |
| 4        | Сравнительная эффективность разновидностей исполнения | 1   | 0,97 |

### 6.5.1 Расчёт производственной мощности

Расчет производственной мощности для непрерывного производства производится по формуле [15]:

$M = P_{\text{час}} \cdot T_{\text{эф}} \cdot K_{\text{об}}$  где  $P_{\text{час}}$  – часовая производительность, т/ч;

$T_{\text{эф}}$  – эффективный фонд времени работы оборудования, ч;

$K_{\text{об}}$  – количество однотипного оборудования. Определим эффективный фонд времени оборудования:

$T_{\text{эф}} = T_{\text{ном.}} - T_{\text{ппр}}$ , где:

$T_{\text{ном.}}$  – номинальный фонд работы оборудования;

$T_{\text{ппр}}$  – время простоя в ремонтах за расчетный период,

Производство имеет непрерывный характер, поэтому

$T_{\text{ном.}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{во}}$ ;

где  $T_{\text{во}}$  – время внеплановых остановок.

$T_{\text{ппр}} = 30 \text{ дн.} (720 \text{ ч.})$ ,  $T_{\text{во}} = 7,5 \text{ дн.} (180 \text{ ч.})$ ,

$T_{\text{ном.}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{во}} = 357,5 \text{ дн.} (8580 \text{ ч.})$ ;

Таким образом,  $T_{\text{эф}} = 8580 - 720 - 80 = 7680 \text{ ч.}$

Полученные данные представлены в табл.3.1.

$P_{\text{час}} = 8333 \text{ кг/ч}$ ;  $T_{\text{эф}} = 7680 \text{ ч}$ ;

$M = 8333 \cdot 7692 = 64100 \text{ т/год.}$

Таблица 24 -Временные показатели

| Показатели                                        | Кол-во дней(часов) |
|---------------------------------------------------|--------------------|
| Календарный фонд времени, Ткал                    | 365(8760)          |
| Режимные потери рабочего времени                  |                    |
| выходные                                          | 0                  |
| праздники                                         | 0                  |
| Внеплановые остановки производства, Тво           | 7,5(180)           |
| Номинальный фонд рабочего времени, Тном.          | 357,5 (8580)       |
| Простой оборудования в ремонтах, Тппр             | 30(720)            |
| Эффективное время работы оборудования за год, Тэф | 7680               |

Коэффициент экстенсивного использования оборудования характеризует эффективность его использования во времени.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен  $K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}} / T_{\text{ном}}$

где  $K_{\text{экс}}$  - коэффициент экстенсивности;

$T_{\text{эф}}$  - эффективное время работы оборудования, оборудования, ч.;

$T_{\text{ном}}$  - календарный фонд времени работы оборудования, ч.

$$K_{\text{экс}} = 7680/8580=0,9$$

Коэффициент интенсивности характеризует использование оборудование по производительности.

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}} / Q_{\text{мах}}$  где  $Q_{\text{пп}}$  – производительность единицы оборудования в единицу времени;

$Q_{\text{мах}}$  – максимальная производительность в единицу времени.

$$K_{\text{инт}} = 0,17/0,173=0,98$$

Интегральный коэффициент использования мощности:  $K_{\text{им}} = 0,9 * 0,98=0,88$

Для определения реального выпуска продукции рассчитывается производственная программа ( $N_{\text{год}}$ ):

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} * M \quad N_{\text{год}} = 64100*0,88=56536 \text{ (т/год)}$$

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 118  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |

Таблица 25 – Издержки производства

| Наименование затрат                                                            | Ед. изм. | Цена, тыс.<br>руб. | Расход |            | Затраты |             |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------|--------|------------|---------|-------------|
|                                                                                |          |                    | На 1 т | На 56536 т | На 1 т  | На 56536 т  |
| Переменные издержки                                                            |          |                    |        |            |         |             |
| 1. Сырье                                                                       |          |                    |        |            |         |             |
| 1.1 Сырье 1                                                                    | тыс.руб. | 39                 | 0,1    | 5653,6     | 3,900   | 220490,4    |
| 1.2 Сырье 2                                                                    | тыс.руб. | 8,396              | 0,03   | 1696,08    | 0,252   | 14240,28768 |
| Всего сырья                                                                    | тыс.руб. |                    |        |            | 4,152   | 234730,6877 |
| 2. Энергия                                                                     | тыс.руб. | 9,8                | 0,005  | 554052,8   | 0,049   | 3150,00     |
| Итог условно-переменных издержек (сырье+энергия)                               |          |                    |        |            | 4,201   | 237880,69   |
| Постоянные издержки                                                            |          |                    |        |            |         |             |
| 3. Ремонт и содержание оборудования                                            |          |                    |        |            |         |             |
| 3.1 Амортизация                                                                | тыс.руб. |                    |        |            | 2,616   | 65402,0     |
| 3.2 Ремонт                                                                     | тыс.руб. |                    |        |            | 0,140   | 3510,0      |
| Всего РСЭО                                                                     | тыс.руб. |                    |        |            | 2,756   | 68912,0     |
| 4. ЗП основных рабочих                                                         | тыс.руб. |                    |        |            | 0,346   | 8640,0      |
| 4.1 Отчисления на соц. нужды основных рабочих                                  | тыс.руб. |                    |        |            | 0,104   | 2341,4      |
| 5. ЗП ИТР и служащих                                                           | тыс.руб. |                    |        |            | 0,235   | 5880,0      |
| 5.1 Отчисления на соц. нужды ЗП ИТР и служащих                                 | тыс.руб. |                    |        |            | 0,071   | 1593,5      |
| 6. ЗП дежурного и ремонтного персонала                                         | тыс.руб. |                    |        |            | 0,127   | 3168,0      |
| 6.1 Отчисления на соц. нужды дежурного и ремонтного персонала                  | тыс.руб. |                    |        |            | 0,038   | 858,5       |
| 7. ЗП МОП                                                                      | тыс.руб. |                    |        |            | 0,104   | 2592,0      |
| 7.1 Отчисления на соц. нужды МОП                                               | тыс.руб. |                    |        |            | 0,031   | 777,6       |
| Всего ФОТ                                                                      | тыс.руб. |                    |        |            | 1,055   | 25851,0     |
| Итого условно-постоянных издержек (РСЭО+ФОТ)                                   | тыс.руб. |                    |        |            | 3,811   | 94763,0     |
| Цеховая себестоимость (переменные+постоянные издержки), тыс.руб.               |          |                    |        |            | 8,012   | 332643,736  |
| Управленческие расходы, тыс.руб.                                               |          |                    |        |            | 0,240   | 9979,312    |
| Заводская себестоимость (цеховая себестоимость +управ. расходы), тыс.руб.      |          |                    |        |            | 8,252   | 342623,048  |
| Коммерческие расходы, тыс.руб.                                                 |          |                    |        |            | 0,083   | 3426,230    |
| Полная себестоимость (заводская себестоимость +коммерческие расходы), тыс.руб. |          |                    |        |            | 8,335   | 346049,278  |
| Итог условно-переменных издержек, тыс.руб.                                     |          |                    |        |            | 4,201   | 237880,688  |
| Итог условно-постоянных издержек, тыс.руб.                                     |          |                    |        |            | 4,134   | 108168,591  |

Себестоимость единицы продукции: 10,554 тыс. руб.

Цена:

$$Ц_0 = C_0 \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right) = 8335 \cdot \left(1 + \frac{22}{100}\right) = 10170 \text{ руб.}$$

### 6.5.2 Анализ безубыточности производства

- Для себестоимости, рассчитанной по исходным данным ( $C_0$ ):

#### 1. Аналитический способ

$$Q_{кр} = \frac{\text{Изд}_{\text{пос}}}{\text{Ц}_{1\text{гп}} - \text{Изд}_{\text{пер 1 гп}}} = \frac{108168,591}{10,17 - 4,201} = 18,1 \text{ тыс. тонн};$$

#### 2. Графический способ

$$B_{\text{пр}} = \text{Ц}_{1\text{гп}} * Q = 10,17 * 56536 = 575622 \text{ тыс. руб.}$$

$$Q = 56,6 \text{ тыс. т.}$$

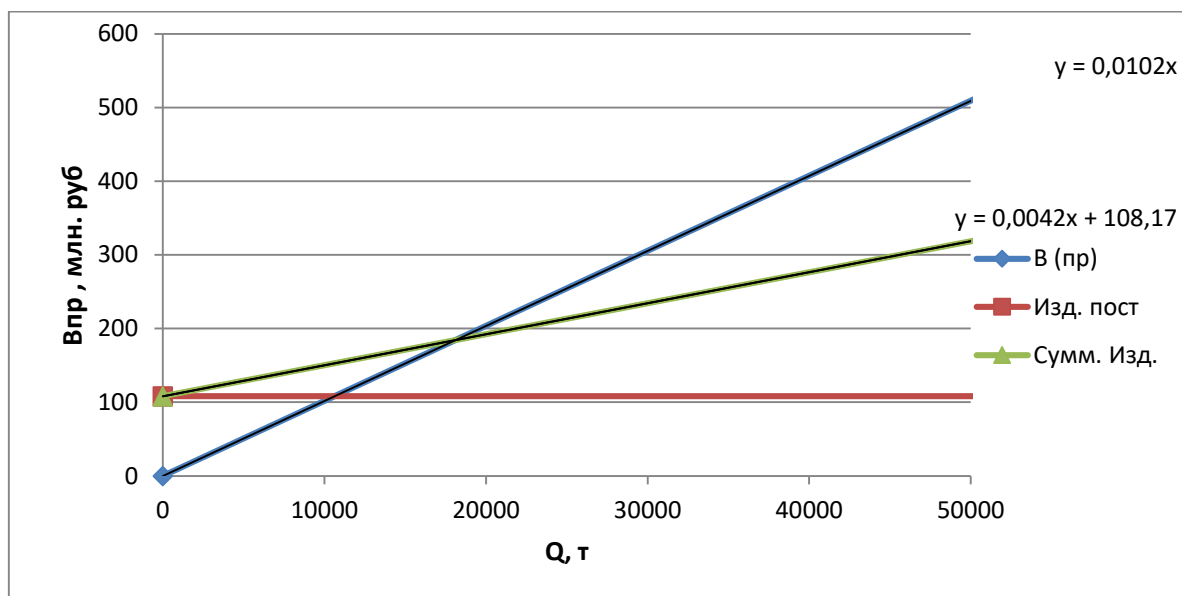


Рисунок 6.1 – График безубыточности для исходных данных

$Q_{кр} = 18,1$  тыс. тонн;

$Q_{кр} = 19250$  тыс. руб.



Таблица 26 - Техничко-экономические показатели

| №   | Наименование показателя                      | Ед. изм.      | С <sub>0</sub> |
|-----|----------------------------------------------|---------------|----------------|
| 1   | Объем производства                           | тыс. т        | 56,6           |
| 2   | Объем продаж                                 | тыс. т        | 56,6           |
| 3   | Цена 1 тонны                                 | тыс. руб.     | 10,17          |
| 4   | Выручка от продажи                           | тыс. руб.     | 575622         |
| 5   | Суммарные издержки                           | тыс. руб.     | 346049,278     |
| 5,1 | Издержки условно-переменные                  | тыс. руб.     | 237880,688     |
| 5,2 | Издержки условно-постоянные                  | тыс. руб.     | 108168,591     |
| 6   | Операционная прибыль (4–5)                   | тыс. руб.     | 229572,722     |
| 7   | Налог на прибыль (6*20%)                     | тыс. руб.     | 45914,544      |
| 8   | Чистая прибыль (6–7)                         | тыс. руб.     | 183658,177     |
| 9   | Себестоимость 1 тонны                        | тыс. руб.     | 8,335          |
| 10  | Стоимость основных средств                   | тыс. руб.     | 450000         |
| 11  | Численность основных рабочих                 | чел.          | 30             |
| 12  | Фондовооруженность (10/11)                   | тыс. руб./чел | 15000,000      |
| 13  | Фондоотдача (4/10)                           | руб./руб.     | 1,279          |
| 14  | Фондоемкость (10/4)                          | руб./руб.     | 0,782          |
| 15  | Производительность труда (4/11)              | тыс. руб./чел | 19187,400      |
| 16  | Рентабельность производства (8*100%/5)       | %             | 53,073         |
| 17  | Рентабельность продаж (8*100%/4)             | %             | 31,906         |
| 18  | Критический объем продаж (Q <sub>кр.</sub> ) | тыс. т        | 18,1           |
| 19  | Критический объем продаж (Q <sub>кр.</sub> ) | тыс. руб.     | 19250          |

Анализируя проделанную работу в данном разделе, можно сделать вывод, что разрабатываемый аппарат является самым удачным по сравнению с аналогом, достигается максимальная эффективность проектируемого аппарата. В данном исполнении достигается максимально оптимальное обеспечение материалами и необходимым спецоборудованием. В результате расчетов становится понятно, что продукт конкурентоспособен в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА**  
**«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

| Группа | ФИО                              |
|--------|----------------------------------|
| 4К51   | Мусханову Дмитрию Александровичу |

| Школа               | ИШНПТ    | Отделение (НОЦ)           | НОЦ Н.М. Кижнера                                                                                   |
|---------------------|----------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уровень образования | бакалавр | Направление/специальность | 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии |

Тема ВКР:

**Разработка ректификационной колонны для разделения бинарной смеси бензол-толуол**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

*Объектом исследования является ректификационная колонна для разделения бинарной смеси бензол-толуол.*

*Рабочая зона оператора, открытая площадка, центральный пульт управления.*

*Область применения – Павлодарский нефтехимический завод.*

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

**1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:**

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

*Конституция Российской Федерации от 12.12.1993года.  
Федеральный закон № 426-ФЗ от 28 декабря 2013 года «О специальной оценке условий труда»  
Федеральный закон №184-ФЗ «О техническом регулировании от 27 декабря 2002 года.  
Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г (ред. от 10.07 2012г) «Технический регламент о требованиях к пожарной безопасности»  
Федеральный закон от 21.07.97 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»*

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    | 122  |

|                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                       | Для работников, занятых на работе с вредными или опасными условиями труда, законодатель установил сокращенную продолжительность рабочего времени – не более 36 часов в неделю (ст.92 ТК РФ, п.1 Постановления Правительства РФ от 20.11.2008 N 870 (далее Постановление N 870)).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>2. Производственная безопасность:</b><br>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов<br>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия | 1. Опасность взрыва или пожара<br>2. Наличие шума в рабочих помещениях<br>3. Работа с вредными и опасными веществами<br>4. Микроклимат рабочих помещений<br>5. Вредное влияние компьютера<br>Воздействие электрического тока                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>3. Экологическая безопасность:</b>                                                                                                                 | Мероприятия по устранению выброса в окружающую среду отходов и вредных веществ:<br>1) Совершенствование технологического процесса<br>2) Снижение потребления энергии без увеличения количества выбросов<br>3) Установка дополнительных систем очисток, либо замена существующих или их усовершенствование.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>                                                                                                      | После ввода аппарата в эксплуатацию на производстве могут возникнуть следующие чрезвычайные ситуации:<br>-возникновение пожара и взрыва (ввиду пожаро- и взрывоопасности разделяемой фракционной смеси жидких углеводородов);<br>-возникновение производственных аварий техногенного характера (нарушение герметичности оборудования, разрыв трубопроводов);<br>Природные ЧС (ввиду больших габаритных размеров, а именно высоты проектируемой колонны существует опасность возникновения ЧС под действием ветровой нагрузки).<br>Типичная ЧС - возможность накопления в выбросах взрывоопасных примесей, содержащихся в перерабатываемом воздухе. |

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

| Должность             | ФИО                           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Скачкова Лариса Александровна |                        |         |      |

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 123  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО                            | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------------|---------|------|
| 4К51   | Мусханов Дмитрий Александрович |         |      |

## 7 Социальная ответственность

Объектом исследования в данной выпускной квалификационной работе является тарельчатая ректификационная колонна для разделения бинарной смеси бензол-толуол.

Проектируемый аппарат используется на нефтеперерабатывающих предприятиях, а целевым рынком для него являются: АО «СДС Азот», ПАО «Нижнекамскнефтехим», ООО «Самараоргсинтез», ПАО «Куйбышевазот», ПАО «Омский каучук», ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», ООО «ПНХЗ»

На разрабатываемой рабочей площадке будет располагаться следующее оборудование: ректификационная колонна, насосы, конденсаторы, подогреватели и т.д. Данное оборудование и его эксплуатация создает опасные и вредные факторы. При работе с представленным оборудованием необходимо строго соблюдать технику безопасности, должны применяться всевозможные меры для обеспечения безопасных условий труда для рабочего персонала.

Данный раздел выпускной квалификационной работы предусматривает собой анализ условий труда, выявление вредных и опасных факторов, определение порядка проведения мероприятий по технике безопасности, мероприятия по противопожарной профилактике на рабочем месте сотрудников предприятия.

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 125  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |

## 7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

### 7.1.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства.

В данном пункте приводятся особенности трудового законодательства применительно к конкретным условиям проекта. Например, виды компенсаций при работе во вредных условиях труда, запрещение использования труда женщин и подростков, особенности обязательного социального страхования и пенсионного обслуживания и т.д.

При эксплуатации ректификационной колонны, согласно Трудовому кодексу , ограничивается применение труда женщин при работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на подземных работах, за исключением нефизических работ или работ по санитарному и бытовому обслуживанию, а также, запрещается применение труда лиц в возрасте до восемнадцати лет на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, на подземных работах, а также на работах, выполнение которых может причинить вред их здоровью и нравственному развитию. Также, работнику в обязательном порядке предоставляются краткосрочные внеплановые и ежегодные дополнительные оплачиваемые отпуска.

Предприятие работает 24 часа в сутки, рабочий процесс осуществляется попеременно двумя сменами по двенадцать часов: с 8 до 20 часов – дневная смена, с 20 до 8 часов – ночная смена. После 4 часов работы с начала смены каждому работнику предоставляется часовой обеденный перерыв [23].

Машины, механизмы и другое производственное оборудование, химические вещества, средства индивидуальной и коллективной защиты работников, должны соответствовать государственным нормативным требованиям охраны труда и иметь декларацию о соответствии или сертификат соответствия.

Рабочие и служащие, занятые на тяжелых и вредных работах, а также на работах, связанных с движением транспорта, проходят обязательные предварительные при поступлении и периодические медицинские осмотры для определения пригодности их к поручаемой работе и предупреждения профессиональных заболеваний.

Каждый работник имеет право на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда, обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом, получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов, отказ от выполнения работ в

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 126  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |

случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности, обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя, обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя, личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания, внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра, гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, повышенные или дополнительные гарантии и компенсации за работу на работах с вредными и (или) опасными условиями труда могут устанавливаться коллективным договором, локальным нормативным актом с учетом финансово-экономического положения работодателя.

### 7.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса. Рабочее место является основной подсистемой производственного процесса

Эргономические требования к производственному оборудованию должны устанавливать его соответствие антропометрическим, физиологическим, психофизиологическим и психологическим свойствам человека и обусловленным этими свойствами гигиеническим требованиям с целью сохранения здоровья человека и достижения высокой эффективности труда, к тем его элементам, которые сопряжены с человеком при выполнении им трудовых действий в процессе эксплуатации, монтажа, ремонта, транспортирования и хранения производственного оборудования.

При установлении эргономических требований к производственному оборудованию необходимо рассматривать оборудование в комплексе со средствами технологической и в необходимых случаях организационной оснастки.

Безопасность эксплуатации колонны обеспечивается надежным и верно изготовленным фундаментом под колонну, который способен выдерживать все

|      |                       |          |                    |      |  |      |
|------|-----------------------|----------|--------------------|------|--|------|
|      | необходимые нагрузки. |          | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ |      |  | Лист |
|      |                       |          |                    |      |  | 127  |
| Изм. | Лист                  | № докум. | Подпись            | Дата |  |      |

Перед запуском в работу проводится осмотр основного оборудования с целью устранения возможных проблем и неполадок.

Уровни физических, химических и биологических опасных и вредных производственных факторов, генерируемых производственным оборудованием в рабочую зону, а также воздействующих на работающего при непосредственном контакте с элементами конструкции, должны соответствовать требованиям безопасности, установленным нормативно-технической документацией, утвержденной в установленном порядке.

Для обеспечения доступа персонала ко всему оборудованию, расположенному на различной высоте, на рабочем участке предусмотрены лестницы с перилами, в соответствии с ГОСТ 12.2.003.91., а также многоуровневые сеточные полы с бортиками, во избежание падения различных инструментов или предметов с высоты. Также предусмотрена установка лестничных маршей с целью обезопасить работу обслуживающему персоналу. Необходимо обязательно предусмотреть проходы на площадке более 0,8 м в ширину.

Рабочее место должно обеспечивать возможность удобного выполнения работ в положении стоя. При выборе положения работающего необходимо учитывать:

- физическую тяжесть работ;
- размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего в процессе выполнения работ;
- технологические особенности процесса выполнения работ (требуемая точность действий, характер чередования по времени пассивного наблюдения и физических действий, необходимость ведения записей и др.).

На предприятии разработаны санитарные требования к территории, водоснабжению, канализации, зданиям и помещениям, оборудованию, инвентарю, тарам, сырью и технологическому процессу.

## 7.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при разработке и эксплуатации данного прибора. Выбор факторов производится с использованием ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 128  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |



производственные факторы. Классификация» [17]. Выявленные факторы перечислены в таблице 27.

Таблица 27 - Опасные и вредные факторы при монтаже и эксплуатации ректификационной колонны

| Факторы<br>(ГОСТ 12.0.003-2015)                                                                                             | Этапы работ    |                  |                  | Нормативные<br>документы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                             | Разрабо<br>тка | Изготов<br>ление | Эксплуа<br>тация |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 1.Повышение уровня<br>вибрации                                                                                              |                | +                | +                | 1.ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование<br>производственное. Общие требования<br>безопасности.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 2. Повышение температуры<br>воздуха рабочей зоны                                                                            |                | +                | +                | 2.ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ. Вибрационная<br>болезнь. Общие требования.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 3.Повышение уровня шума                                                                                                     |                | +                | +                | 3.СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические<br>требования к микроклимату<br>производственных помещений.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 4.Повышение температуры<br>поверхности оборудования                                                                         | +              | +                | +                | 4.ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие<br>требования безопасности.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 5.Повышенное значение<br>напряжения в<br>электрической цепи,<br>замыкание которой<br>может произойти через<br>тело человека | +              | +                | +                | 5.ГОСТ 12.2.007.0-2015 Система стандартов<br>безопасности труда. Изделия<br>электротехнические. Общие требования<br>безопасности.<br><br>6.СанПиН 2.2.4.548-96 устанавливает<br>гигиенические требования к микроклимату<br>производственных помещений;<br><br>7.СанПиН 2.2.4.1191-03 устанавливает<br>требования к электромагнитным полям для<br>потребительской продукции;<br><br>8.ГОСТ 12.1.007-2015 устанавливает<br>требования безопасности вредных веществ. |

### 7.3 Выявление вредных факторов при разработке и эксплуатации научного исследования

Производственное оборудование должно обеспечивать безопасность работающих при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований (условий, правил), предусмотренных эксплуатационной документацией [20].

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 129  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |

### 7.3.1 Повышенный уровень вибрации

Появление данного вредного фактора вызвано тем, что через ректификационную колонну проходят потоки вещества со скоростью от 0,6 до 1 м/с. При этом поток постоянно ударяется о стенки и перегородки аппарата. Вследствие этого возникает вибрация. Под воздействием вибрации может возникать усталость, а как следствие низкий уровень производительности труда оператора.

Режим труда должен устанавливаться при показателе превышения вибрационной нагрузки на оператора не менее 1 дБ (в 1,12 раза), но не более 12 дБ (в 4 раза). При показателе превышения более 12 дБ (в 4 раза) запрещается проводить работы и применять машины, генерирующие такую вибрацию [24].

Основным способом обеспечения вибробезопасности должно быть создание и применение вибробезопасных машин.

Создание вибробезопасных машин должно обеспечиваться применением методов, снижающих вибрацию в источнике возбуждения, которые приведены в ГОСТ 26568-85 [24].

### 7.3.2 Повышенная температура воздуха рабочей зоны

Относительно высокое значение температуры воздуха рабочей зоны обуславливается тем, что в ректификационной колонне производится массообменный процесс. Корпус аппарата нагревается до 170 градусов Цельсия и нагревает воздух. На аппарате установлена теплоизоляция для уменьшения тепловых потерь и защиты от ожогов.

Санитарные правила и нормы 2.2.4.548-96 устанавливают определённый микроклимат для всех типов рабочих помещений. Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений согласно [19] в таблице 14.

Таблица 28- Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 130  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |

| Период года | Температура, °С | Относительная влажность, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|
| Холодный    | 21-23           | 40-60                      | 0,1                            |
| Теплый      | 22-24           | 40-60                      | 0,1                            |

### 7.3.3 Повышенный уровень шума

Шум непосредственно связан с вибрацией. В ректификационной колонне проходят потоки гидрогенизата, постоянно ударяясь о стенки и перегородки аппарата. Кроме того, основной шум создают насосы, которые и перекачивают потоки флегмы.

Шум и вибрация не только ухудшают самочувствие человека и снижают производительность труда в среднем на 10-15%, но и очень часто приводят к профессиональным заболеваниям. Физиопатологические последствия могут проявляться в форме нарушения слуха и других анализаторов.

Шумы создаются работающими приборами, вентиляторами. В большинстве случаев технически трудно снизить шум до очень малых уровней, поэтому при нормировании исходят не из оптимальных, а из терпимых условий, т.е. таких, когда вредное действие шума на человека не проявляется или проявляется незначительно. Нормирование допустимых уровней звукового давления производится в соответствии с [21]. По данному ГОСТу уровень звука в производственных помещениях не должен превышать 85 дБА. [21].

В качестве средств индивидуальной защиты от шума в зависимости от конструктивного исполнения используются :

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему;
- противошумные шлемы и каски; противошумные костюмы.

## 7.4 Анализ опасных факторов при разработке и эксплуатации научного исследования

### 7.4.1 Электрический ток

При сборке, настройке, подключении и эксплуатации разрабатываемого устройства возможно поражение электрическим током, что является опасным фактором

Согласно требованиям конструкция производственного оборудования, приводимого в действие электрической энергией, должна включать устройства (средства) для обеспечения электробезопасности.

Технические средства и способы обеспечения электробезопасности (например, ограждение, заземление, зануление, изоляция токоведущих частей, защитное отключение и др.) должны устанавливаться в стандартах и технических условиях на производственное оборудование конкретных групп, видов, моделей (марок) с учетом условий эксплуатации и характеристик источников электрической энергии.

Производственное оборудование должно быть выполнено так, чтобы исключить накопление зарядов статического электричества в количестве, представляющем опасность для работающего, и исключить возможность пожара и взрыва [18].

Основные способы и средства электрозащиты:

- изоляция токоведущих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
- предупредительная сигнализация и блокировки;
- использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- использование малых напряжений;
- электрическое разделение сетей;
- защитное заземление;
- выравнивание потенциалов;
- зануление;
- защитное отключение;
- средства индивидуальной электрозащиты [18].

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 132  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |

## 7.4.2 Повышенная температура поверхности оборудования

На ректификационную колонну необходимо установить защитный экран для предотвращения разбрызгивания жидкости в случае выхода из строя прокладок, а также от воздействия факторов. Защитный экран может быть изготовлен из листа оцинкованной или нержавеющей стали толщиной от 0,5 до 0,8 мм и размещается между пакетом пластин и шпильками, стягивающими теплообменник. Защитный экран в комплект поставки не входит.

При необходимости нахождения людей вблизи горячих частей оборудования должны быть приняты меры по их защите ожогов и действия

высокой температуры (ограждение действующего оборудования, вентиляция, спецодежда и т.п.)[19].

Все горячие части оборудования, трубопроводы, баки и другие элементы, прикосновение к которым может вызвать ожоги, должны иметь тепловую изоляцию. Температура на поверхности изоляции при температуре окружающего воздуха 25 град. С должна быть не выше 45 град. С. Окраска, условные обозначения, размеры букв и расположение надписей должны соответствовать Правилам устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды и ГОСТ 14202-69 [22].

Трубопроводы агрессивных, легковоспламеняющихся, горючих, взрывоопасных или вредных веществ должны быть герметичными. В местах возможных утечек (краны, вентили, фланцевые соединения) должны быть установлены защитные кожухи, а при необходимости - специальные устройства со сливом из них продуктов утечек в безопасное место.

## 7.5 Экологическая безопасность

Эксплуатация ректификационной установки, выброс веществ в гидросферу и литосферу может возникнуть, когда необходимо сбросить давление, сравнять давление в аппарате с атмосферным давлением при ремонтных работах. Для этого предусмотрены патрубки для соединения с атмосферой. Для спуска жидкостей в аппаратах предусмотрены сливные патрубки. Ароматические углеводороды образуют группу, основными представителями являются бензол, толуол, этилбензол, ксилол и др. Ароматические УВ — наиболее токсичные компоненты нефти. В концентрации всего 1% в воде они убивают все водные растения. Нефть, содержащая до 35% ароматических УВ,

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 133  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |

значительно угнетает рост высших растений. Моноядерные УВ — бензол и его гомологи оказывают более быстрое токсическое воздействие на организмы чем ПАУ, так как ПАУ медленнее проникают через мембраны клеток. Однако, в целом, ПАУ действуют более длительное время, являясь хроническими токсикантами.

Особую опасность сегодня представляют районы, где история действия НПЗ насчитывает полувековую историю и более. Всецеские утечки и аварийные выбросы в районе таких предприятий поспособствовали глубокому проникновению загрязняющих веществ в почву. К основным причинам, приводящим к загрязнению грунта, относят: утечки через негерметичные соединения технологического оборудования; механические повреждения арматуры; выбросы в атмосферу; негерметичная канализационная система; разливы при сливо-наливных операциях и другие.

По настоящее время на ряде НПЗ остается актуальной проблема ликвидации отходов углеводородов.

Мероприятия по устранению выброса в окружающую среду отходов и вредных веществ:

- Совершенствование технологического процесса
- Снижение потребления энергии без увеличения количества выбросов
- Установка дополнительных систем очисток, либо замена существующих или их усовершенствование.

Защита литосферы на предприятии ПНХЗ обеспечивается системой управления производственными отходами, которая позволяет оптимизировать потоки движения отходов, это позволяет снизить экологические последствия и экономические издержки их образования. Защита гидросферы обеспечивается строительством многоступенчатой системой биологической очистки сточных вод до 99%. За счет данной очистки снижается потребность водопотребления завода, вся используемая вода поступает обратно в производственный цикл. Защита литосферы обеспечивается правильной утилизацией углеводородов с помощью специального инвентаря и техники, которая уменьшает негативное влияние углеводородов на грунт.

## 7.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

После ввода аппарата в эксплуатацию на производстве могут возникнуть следующие чрезвычайные ситуации:

- возникновение пожара и взрыва (ввиду пожаро- и взрывоопасности разделяемой фракционной смеси жидких углеводородов);

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 134  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |

- возникновение производственных аварий техногенного характера (нарушение герметичности оборудования, разрыв трубопроводов);
- природные ЧС (ввиду больших габаритных размеров, а именно высоты проектируемой колонны существует опасность возникновения ЧС под действием ветровой нагрузки).

Для предотвращения воздействия ветровой нагрузки в бакалаврской работе приведены расчеты на действие ветровых нагрузок в разделе «конструктивно-механический расчет». Для ликвидации последствий возникновения аварий такого характера необходимо провести мероприятия в следующей последовательности:

- эвакуация персонала из зоны поражения;
- локализация источника аварии;
- ремонтные работы;
- устранение причин аварии.

Наиболее опасной чрезвычайной ситуацией на данном производстве следует принять возникновение пожара и взрывов. Причинами возникновения данных ЧС могут являться:

- технические неполадки, в результате которых происходит отклонение технологических параметров, с последующим разрушением оборудования;
- неосторожное обращение с огнем при производстве ремонтных работ;
- события, связанные с человеческим фактором;
- внешнее воздействие техногенного или природного характера;
- повышенная температура воздуха и предметов;
- пониженная концентрация кислорода в воздухе.

Для предотвращения пожара рабочее место должно быть обеспечено системой предотвращения пожара, направленная на минимизацию ущерба на людей от пожара и ограничения ущерба от него, проведены организационные мероприятия, обеспечено наличие технических средств, уменьшающих риск возникновения пожара.

Мероприятия, которые должны проводиться для обеспечения пожаробезопасности [20]:

- предотвращение распространения пожара за пределы очага;
- применение конструкций производственных объектов с регламентированным пределом их огнестойкости и горючести;
- эвакуацию людей в случае пожара;
- применение средств индивидуальных и коллективных средств защиты от огня;
- применение средств пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре;
- организацию пожарной охраны объекта.

Необходимо, чтобы на блочном щите управления находили пенные, порошковые и водные огнетушители.

На участках с непосредственным контактом с водой необходимо следить за тем, чтобы вода не попадала на электропроводку и распределительные коробки для избегания короткого замыкания и возникновения пожара.

Все проходы должны быть свободными и иметь хотя бы два выхода, необходимо избегать длинных тупиковых проходов.

В данном разделе рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при работе на ректификационной колонне, выявлены вредные и опасные факторы, а также разработаны мероприятия по снижению или ликвидации действия данных факторов на работников завода. Описано возможное влияние различных факторов на окружающую среду, рассмотрены способы минимизации их воздействия. Также рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации и профилактические мероприятия для их предотвращения и ликвидации

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 136  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |



## Заключение

Результатом выполненной работы является спроектированная и рассчитанная ректификационная колонна тарельчатого типа для разделения бинарной смеси бензол-толуол.

Во введении кратко были рассказаны и пояснены теоретические основы массообменных процессов, представлены задачи диплома.

Технологический расчет подразумевал под собой расчет теплового и материального балансов, определение оптимального и рабочего флегмового чисел.

В конструктивном расчете определены скорости паров, жидкостей, находящихся в колонне, основные геометрические характеристики аппарата – диаметр и высота. Диаметр определен исходя из уравнения расхода, а высота определена исходя из расчета чисел переноса в верхней и нижней частях колонны. Определены материалы для изготовления колонны, контактных устройств и т.д.

В механическом разделе проведены расчеты на прочность, жесткость, устойчивость, герметичность элементов аппарата. Определены толщины стенок аппарата, укреплять отверстия в аппарате необходимости нет, избыточная толщина стенки компенсирует все нагрузки, подобран и рассчитан опорный узел, проведены проверки на устойчивость и прочность при действии ветровых нагрузок на колонну.

В разделе финансового менеджмента определена ресурсоэффективность производимого аппарата.

В разделе социальной ответственности определены возможные опасные и вредные факторы, которые могут влиять на здоровье обслуживающего персонала. Приведены необходимые мероприятия по минимизации воздействия факторов на персонал и окружающую среду, рассмотрены законодательные стороны вопроса.

## Список литературы

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия. 1973. – 752 с.
2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – 14-е изд., стереотипное. Перепечатка с издания 1987 г. М.: ООО ИД «Альянс», 2007. – 576 с.
3. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию /Г.С.Борисов, В.П.Брыков, Ю.И.Дытнерский и др. 2-е изд., перераб. и доп. М.:Химия, 1991. – 452 с.
4. А.Г. Новоселов, В.Б. Тишин, А.Б. Дужий. Справочник по молекулярной диффузии в системах газ–жидкость и жидкость–жидкость  
[http://chemanalytica.com/book/novyy\\_spravochnik\\_khimika\\_i\\_tekhnologa/10\\_protsestry\\_i\\_apparaty\\_khimicheskikh\\_tekhnologiy\\_chast\\_II/7220](http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/10_protsestry_i_apparaty_khimicheskikh_tekhnologiy_chast_II/7220) (20.03.19)
5. Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. 3-е изд., стереотипное. – М.: ООО ИД «Альянс», 2008. – 752 с.
6. ГОСТ Р 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2008. — 26 с. — Государственные стандарты.
7. ГОСТ Р 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2008. — 44 с. — Государственные стандарты.
8. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры (с Изменениями N 1, 2). — Изд. офиц. Москва: Издательство стандартов, 1985. — 53 с. — Государственные стандарты.
9. АТК 24.200.04-90. Альбом типовых конструкций. Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. Типы и основные размеры.
10. ГОСТ Р 34233.4-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2008. — 40 с. — Государственные стандарты.
11. ГОСТ Р 51273.99. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2008. — 17 с. — Государственные стандарты.

|      |      |          |         |      |                    |      |
|------|------|----------|---------|------|--------------------|------|
|      |      |          |         |      | ФЮРА.РК.000.000.ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                    | 138  |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                    |      |

12. ГОСТ Р 51274.99. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность.. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2008. — 16 с. — Государственные стандарты.
13. ГОСТ 24379.0- 2012 Болты фундаментальные. Общие технические требования. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2012. — 11 с. — Государственные стандарты.
14. ГОСТ Р 34233.3-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2012. — 14 с. — Государственные стандарты.
15. ГОСТ Р 53684.3-2015 Аппараты колонные. Технические требования. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2012. — 14 с. — Государственные стандарты.
16. ГОСТ 8509-93 С Уголки стальные горячекатальные равнополочные. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2012. — 24 с. — Государственные стандарты.
17. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
18. ГОСТ 12.0.002-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Термины и определения.
19. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
20. Об утверждении Правил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03) 149.
21. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2012. — 35 с. — Государственные стандарты.
22. ГОСТ 14202-69 Трубопроводы промышленных предприятий. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2007. — 24 с. — Государственные стандарты.
23. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации : от 30.12. 2001 г. № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) , ввод в действие с 01.02.2002 / Российская Федерация. Законы. — Волгоград ; М. : Изд-во ВолГУ : Либрис, 2002. — 225с.
24. ГОСТ 26568-85 Вибрация. Метода и средства защиты. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2008. — 26 с. — Государственные стандарты.